

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
**ФАКУЛЬТЕТ БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**  
(повна назва інституту/факультету)

**КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**  
(повна назва кафедри)

До захисту допущено:

В. о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ **Владислав ШЛИКОВ**  
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Дипломна робота**

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою \_\_\_\_\_ **Клінічна інженерія**  
(назва)

спеціальності \_\_\_\_\_ **163 Біомедична інженерія**  
(код та назва)

на тему: Інформаційна система для розрахунку біологічного захисту  
рентгенодіагностичних кабінетів

Виконала: студентка 4 курсу, групи **БМ-62**  
(шифр групи)

\_\_\_\_\_ **Колодійчук Ольга Леонідівна**  
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ **ст. викл. каф. БМІ, Данілова Валентина Анатоліївна**  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Консультант \_\_\_\_\_ **заст. нач. відділу радіаційної безпеки ДП ДНТЦ ЯРБ**  
**Литвинська Тетяна Віталіївна**  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Консультант \_\_\_\_\_ **4 доц. каф. ОППЦБ, к. т. н. Демчук Гліб Вікторович**  
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ **ст. викл. каф. БМІ Юр'єва Катерина Олександрівна**  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_ **доц. каф. ТМБ, к.б.н., с.н.с. Беспалова Олена Ярославівна**  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі  
немає запозичень з праць інших авторів  
без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет	<u>Біомедичної інженерії</u>
Кафедра	<u>Біомедичної інженерії</u>
Рівень вищої освіти	<u>Перший (бакалаврський)</u>
Спеціальність	<u>163 Біомедична інженерія</u>
Освітньо-професійна програма	<u>Клінічна інженерія</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

Владислав ШЛИКОВ  
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на дипломну роботу студенту**  
Колодійчук Ользі Леонідівні  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інформаційна система для розрахунку біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів

керівник роботи Данілова Валентина Анатоліївна,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. №1191-с.

2. Термін подання студентом роботи «8» червня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи статті про вплив рентгенівського випромінювання на організм людини; державні та міжнародні стандарти і норми з радіаційної безпеки; методики розрахунку біологічного захисту від рентгенівського випромінювання; програмний продукт Visual Studio 2015.

4. Зміст роботи (пояснювальної записки) загальний огляд сучасних рентгенодіагностичних апаратів; аналіз стану радіаційної безпеки в медицині в Україні; огляд міжнародних та українських актів законодавства в сфері радіаційної безпеки; порівняння методик розрахунку біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів та існуючого програмного забезпечення;

розробка інформаційної системи для розрахунку біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів.

5. Перелік ілюстративного матеріалу презентація (21 слайд), рисунки.

6. Консультанти розділів роботи (проекту)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 2	Литвинська Т.В., заст. нач. відділу радіаційної безпеки ДП ДНТЦ ЯРБ		
4	Демчук Г.В., доц. каф. ОППЦБ		

7. Дата видачі завдання 13 квітня 2020 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд сучасних рентгенодіагностичних апаратів	13.04 – 16.04	
2	Аналіз стану радіаційної безпеки в медицині в Україні	17.04 – 21.04	
3	Огляд та аналіз норм у сфері радіаційного захисту	22.04 – 27.04	
4	Порівняльний аналіз методик розрахунку біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів	28.04 – 04.05	
5	Оцінка існуючого програмного забезпечення	05.05 – 06.05	
6	Формулювання вимог та розробка алгоритму роботи інформаційної системи	07.05 – 11.05	
7	Створення інформаційної системи у середовищі Visual Studio 2015	12.05 – 18.05	
8	Охорона праці	02.06	
9	Формування загальних висновків дипломної роботи	03.06	

Студентка

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Ольга КОЛОДІЙЧУК

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Валентина ДАНИЛОВА

(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота складає за обсягом 70 сторінок, містить 34 ілюстрації, 20 таблиць, проаналізовано 30 літературних джерел.

Мета роботи: інформаційна система для розрахунку біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів.

Об'єктом дослідження є рентгенологія.

Предметом дослідження є методики розрахунку біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів.

Для досягнення мети дипломної роботи були поставлені такі задачі:

- аналіз стану використання рентгенодіагностичних апаратів в Україні;
- огляд міжнародних та українських норм радіаційної безпеки;
- порівняльний аналіз методик розрахунку біологічного захисту від рентгенівського випромінювання;
- оцінка існуючого програмного забезпечення для розрахунку біологічного захисту від рентгенівського випромінювання;
- формулювання вимог до інформаційної системи для автоматизації розрахунку біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів;
- розробка алгоритму роботи інформаційної системи;
- розробка інформаційної системи у середовищі Visual Studio 2015.

Розглядається актуальність коректного розрахунку біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів. Розроблено інформаційну систему, яка автоматизує даний розрахунок товщини захисту в різних матеріалах для різних типів діагностичних рентгенівських апаратів.

Ключові слова: радіаційна безпека, біологічний захист, рентгенівське випромінювання.

## **ABSTRACT**

Diploma work consists of 70 pages, contains 34 illustrations, 20 tables, an analysis of 30 literary sources.

Diploma work goal: information system designed for calculation of biological protection of X-Ray cabinets.

The object of the research is radiology.

The subject of the research: methods of for calculation of biological protection of X-Ray cabinets.

There are following tasks in place for reaching the goal of the work:

- Analysis of the current state of X-Ray diagnosis machines usage in Ukraine;
- An overview of the Ukrainian and international norms of radiological safety;
- A comparative analysis of the methods of for the calculation of biological protection from X-Ray radiation;
- An assessment of the existing software for the calculation of biological protection from X-Ray radiation;
- Forming of the requirements for the information system for automation of the biological protection of X-Ray cabinets;
- Development of the work algorithm for the information system;
- Development of the information system in Visual Studio 2015.

The relevance of the calculation of calculation of the biological protection of X-Ray cabinets is considered. An information system for automation of the width of protection in different materials for different types of diagnostics machines is developed.

Key words: radiation safety, biological protection, X-Ray radiation.

## ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	8
ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА .....	12
1.1 Вплив рентгенівського випромінювання на організм людини.....	12
1.2 Нормативно-правові акти у сфері використання ДІВ.....	14
1.3 Огляд сучасної рентгенівської діагностичної апаратури .....	16
1.4 Статистика використання ДІВ в Україні протягом останніх років.....	18
1.5 Аналіз сучасного стану ІДК медичних працівників в Україні .....	21
1.6 Основні заходи радіаційного захисту.....	22
Висновки до розділу 1 .....	28
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....	29
2.1 Методи розрахунку біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів .....	29
2.2 Загальний огляд програми XRAYBARR.....	43
Висновок до розділу 2 .....	47
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ БІОЛОГІЧНОГО ЗАХИСТУ РЕНТГЕНОДІАГНОСТИЧНИХ КАБІНЕТІВ..	48
3.1 Вимоги до ІС .....	48
3.2 Розробка функціональної схеми ІС .....	49
3.3 Розробка інтерфейсу користувача .....	51
3.4 Результати роботи ІС .....	55
Висновки до розділу 3 .....	57

					БМ62.07.2505.1191			
Вим	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Колодійчук О.П.			Інформаційна система для розрахунку біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів	Літ.	Лист	Листів
Перевірів		Данілова В.А.						
Реценз.		Беспалова О.Я.				НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського» ФБМІ БМ-62		
Н. Контр.		Юр'єва К.О.						
Затвердив		Шликов В.В.						

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	58
4.1 Характеристика КТ і приміщення рентгенівського кабінету при виконанні роботи на етапі тестування ІС .....	58
4.2 Джерела фізичних небезпечних і шкідливих факторів .....	61
4.3 Джерела хімічних небезпечних і шкідливих факторів .....	62
4.4 Небезпека ураження електричним струмом .....	63
4.5 Небезпека пожежі .....	64
Висновки до розділу 4 .....	65
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ДІВ – джерела іонізуючого випромінювання.

ДНТЦ ЯРБ – Державне підприємство «Державний науково-технічний центр ядерної та радіаційної безпеки».

ДПД – допустима потужність дози.

ДСанПіН 6.6.3-150-2007 – Державні санітарні правила і норми «Гігієнічні вимоги до влаштування та експлуатації рентгенівських кабінетів і проведення рентгенологічних процедур».

ЗОЗ – заклади охорони здоров'я.

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту.

ІВ – іонізуюче випромінювання.

ІДК – індивідуальний дозиметричний контроль.

ІС – інформаційна система.

КТ – комп'ютерна томографія.

МАГАТЕ – Міжнародна Агенція з Атомної Енергії.

ЦЛРБ ДМО – Центральна лабораторія радіаційної безпеки та дозиметрії медичного опромінення.

ЯРБ – ядерна та радіаційна безпека.

NCRP report No. 147 – NCRP report No. 147 Structural Shielding Design for Medical X-rays Imaging Facilities.

XRAYBARR – XRAYBARR X-ray Shielding Calculation v1.5.

					БМ62.07.2505.1191	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



## ВСТУП

Медицина – найбільша галузь застосування джерел іонізуючого випромінювання (далі – ДІВ) в Україні. Заклади охорони здоров'я (далі – ЗОЗ) різних форм власності складають до 40% усіх ліцензіатів у сфері використання ядерної енергії в Україні[1].

При медичному опроміненні радіаційного захисту потребує не лише персонал, а й пацієнти: близько 80 тисяч осіб проходять лікування щорічно, діагностику роблять близько 20 мільйонів людей в рік [2]. За даними Державного реєстру ДІВ в Україні використовується близько 10 000 рентгенодіагностичних апаратів без врахування рентгенівських апаратів для стоматології [1].

В Україні здійснюється регулюючий контроль безпечного використання ДІВ відповідно до чинних нормативно-правових актів, в тому числі Закони України «Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії» [3] та «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання» [4] для забезпечення неперевищення лімітів доз опромінення персоналу та населення.

При проєктуванні приміщень, в яких розташовуються ДІВ медичного призначення, виконується розрахунок захисту (біологічного захисту) кімнат та будівель від іонізуючого випромінювання згідно із вимогами та за рекомендаціями, прописаними законодавством [5], та рекомендаціями міжнародних організацій, як то Міжнародна Агенція з Атомної Енергії (далі – МАГАТЕ). Зроблений за таким проєктом захист приміщень (процедурних приміщень) здатний звести до мінімуму, практично до нуля, вихід іонізуючого випромінювання назовні.

Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 16.11.2011 № 1174 "Про затвердження критеріїв, за якими діяльність з використання джерел іонізуючого випромінювання звільняється від ліцензування"

					БМ62.07.2505.1191	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

підлягають ліцензуванню ДІВ для проведення діагностичних процедур [6]: комп'ютерні томографи (далі – КТ), ангіографи, рентгенівські апарати, призначені для рентгеноскопії тощо. Одним з документів, що додаються до заяви на видачу (переоформлення) ліцензії на право провадження окремих видів діяльності у сфері використання ядерної енергії є Висновок державної експертизи з ядерної та радіаційної безпеки (далі – ЯРБ) проєктної документації на розміщення ДІВ, в тому числі ДІВ медичного призначення,

Відповідно до Загальних правил радіаційної безпеки використання джерел іонізуючого випромінювання у медицині [7] проєктна документація на розміщення ДІВ медичного призначення при введенні в експлуатацію нового об'єкта або реконструкції існуючого кабінету підлягає державній експертизі–ЯРБ. Відповідно до Порядку проведення державної експертизи ЯРБ [8] одним з документів, що подаються для експертизи є розрахунок біологічного захисту приміщень, де встановлюється ДІВ, в тому числі рентгенівський апарат.

Відповідно до Закону України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» [9] Державну експертизу ЯРБ проводить орган державного регулювання ядерної та радіаційної безпеки – Державна інспекція ядерного регулювання України (Держатомрегулювання). Держатомрегулювання може провести таку експертизу власними силами, або доручає це Державному підприємству «Державний науково-технічний центр ядерної та радіаційної безпеки» (далі – ДНТЦ ЯРБ) як відповідальній експертній організації. ДНТЦ ЯРБ – єдина організація, за якою законодавчо закріплено право на проведення державної експертизи ЯРБ в Україні [5].

Експертні розрахунки наразі проводяться різними методами: розрахунковим, математичного та статистичного аналізу. Розрахунковий метод займає до 60% часу проведення експертизи. Тому у даній роботі розроблено інформаційну систему (далі – ІС) для автоматизації та оптимізації розрахунку біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів закладів охорони здоров'я (далі – ЗОЗ).

					БМ62.07.2505.1191	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Огляд літератури за вказаним напрямком дав можливість сформулювати актуальність створення нової ІС.

ІС значно пришвидшить проведення експертизи ЯРБ, автоматизує процес та мінімізує помилки у розрахунках стаціонарного біологічного захисту (зменшить вплив людського фактору). А це в свою чергу забезпечить персонал та пацієнтів від можливого перевищення доз від рентгенівського випромінювання при проведенні рентгенодіагностичних процедур.

Наукова новизна дипломної роботи полягає у розробці ІС, яка дозволяє розраховувати необхідну товщину біологічного захисту від рентгенівського випромінювання з різних будівельних матеріалів (свинець, сталь, гіпс, скло, дерево, бетон) з метою недопущення перевищення лімітів доз опромінення персоналу, пацієнтів та населення під час рентгенодіагностичних процедур. Особливістю ІС є зручність та інтуїтивне розуміння інтерфейсу для інженера.

Дана ІС може бути використана спеціалістами в ДНТЦ ЯРБ та Держатомрегулюванні при проведенні експертизи ядерної та радіаційної безпеки для ЗОЗ, а також експертами з радіаційної безпеки та медичними фізиками в ЗОЗ та інших установ, закладів та організацій, які будуть здійснювати проєктування рентгенодіагностичних кабінетів.

					БМ62.07.2505.1191	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Вплив рентгенівського випромінювання на організм людини

Сфера використання діагностичних методів із застосуванням джерел іонізуючого випромінювання розширюється останніми десятиліттями, що при існуючому кількісному обсязі процедур та їх щорічному прирості на 5-7% збільшує опромінення як персоналу, так і населення (пацієнтів). Для вирішення проблем опромінення останні інновації в області медичної рентгенодіагностичної техніки були присвячені зниженню променевого навантаження [10].

При проведенні діагностики значна частина енергії рентгенівського випромінювання поглинається тілом пацієнта, а інша її кількість розсіюється в приміщенні. Ці фактори (поглинання і розсіювання) визначають біологічний вплив іонізуючого випромінювання на організм людини [10]. Це здатність викликати іонізацію та збудження атомів і молекул в клітинах, тканинах і органах [11].

Дія випромінювання на організм залежить від багатьох факторів. Визначальними факторами є: доза, вид випромінювання, тривалість опромінення, розміри опромінюваної поверхні, індивідуальна чутливість організму [12].

Існують наступні типи ефектів, що настають від впливу іонізуючого випромінювання (далі – ІВ): детерміновані та стохастичні.

Таблиця 1.1 – Можливі ефекти від дії ІВ на організм людини

Характеристика	Детерміновані ефекти	Стохастичні ефекти
Залежність від дози опромінення	прямо пропорційна	немає
Існування дозового порогу	є	немає
Прояви	променевий опік, катаракта, безпліддя	злоякісні пухлини, генетичні мутації

У табл. 1.2 наведені можливі детерміновані ефекти впливу ІВ на організм людини в залежності від отриманої ефективної дози.

Таблиця 1.2 – Детерміновані ефекти

Ефективна доза, Зв	Біологічний ефект
0,25	не призводить до помітних змін в організмі
0,25 – 0,5	спостерігаються зміни показників крові
0,5 – 1,0	викликає зниження рівня лейкоцитів
1,0 – 2,0	гостра променева хвороба: нудота, головний біль, зниження рівня лімфоцитів і тромбоцитів на 50%
близько 3,0	блювота, слабкість, висока температура, зневоднення організму, випадання волосся
4,0	ураження слизових оболонок внутрішніх органів і тканин кісткового мозку, що створює суттєву загрозу життю
5,0 – 6,0	настання смерті, якщо не надано інтенсивну медичну допомогу
понад 6,0	шанси вижити довше декількох тижнів дуже малі
понад 10,0	настає смерть від зневоднення

У таблиці 1.3 наведені значення отриманих ефективних доз при проведенні рентгенодіагностичних процедур [13].

Таблиця 1.3 – Ефективні дози при проведенні рентгенодіагностичних процедур

	Процедура	Ефективна доза, мЗв	Ризики виникнення онкозахворювань	Період отримання аналогічної дози від природного випромінювання
Низькі дози	дентальна рентгенодіагностика, дослідження грудної клітки, мамографія, дослідження кісток кінцівок	< 0,1	1 на 1000000	декілька днів
Середні дози	флюорографія грудної клітки, дослідження спинного хребта, дослідження шлункової порожнини	1 – 5	1 на 10000	від кількох місяців до кількох років
Високі дози	КТ голови та шиї, КТ грудної клітки, радіонуклідна діагностика, ангиографія	5 – 20	1 на 2000	від двох до декількох років

При порівнянні отриманих ефективних доз (див. табл. 1.3) та допустимих рівнів доз для настання наслідків (див. табл. 1.2) видно, що

отримані рівні при проведенні рентгенодіagnostичних процедур майже у всіх випадках на порядок менші.

## 1.2 Нормативно-правові акти у сфері використання ДІВ

Українська нормативно-правова база в сфері забезпечення радіаційної безпеки в Україні має ієрархічну структуру [5] (рис. 1.1).

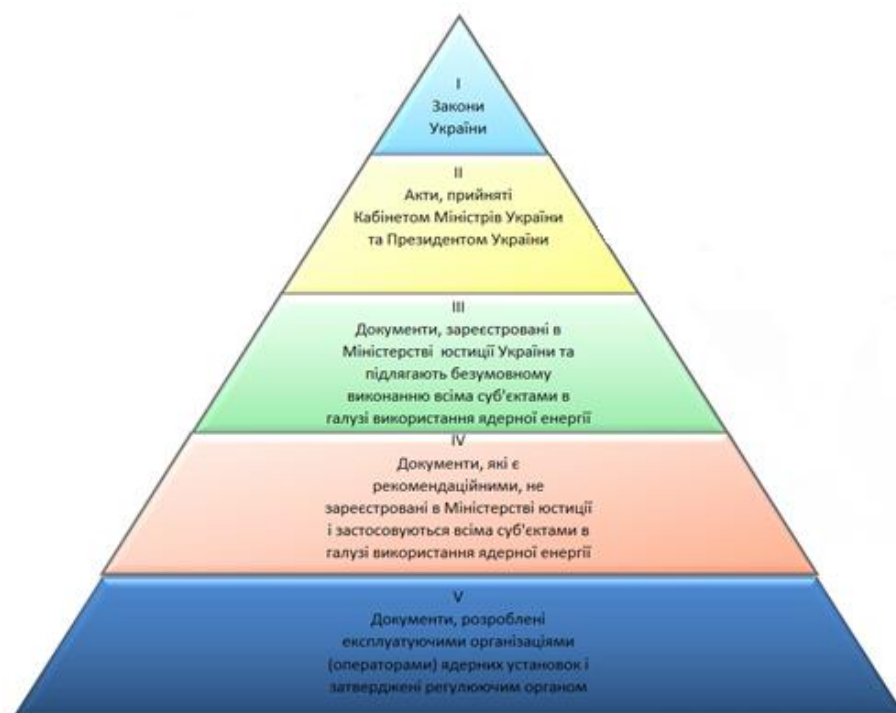


Рисунок 1.1 – Нормативно-правова база з ЯРБ

Основні чинні нормативно-правові акти України I та II рівнів ієрархічної піраміди в сфері використання ДІВ та радіаційної безпеки:

- а) Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку». Він є основоположним у ядерному законодавстві України [9];
- б) Закон України «Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії»;
- в) Закон України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання»;

г) Постанова КМ України від 16.11.2011 № 1174 «Про затвердження критеріїв, за якими діяльність з використання джерел іонізуючого випромінювання звільняється від ліцензування».

Базові документи, що встановлюють основні принципи і критерії радіаційного захисту:

а) Державні гігієнічні нормативи «Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)»;

б) Державні гігієнічні нормативи «Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000)»;

в) Державні санітарні правила «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України» (ОСПУ-2005).

Нормативні документи з безпеки використання ДІВ, що встановлюють правила та вимоги:

а) Вимоги та умови безпеки (ліцензійні умови) провадження діяльності з використання джерел іонізуючого випромінювання;

б) Вимоги та умови безпеки (ліцензійних умов) провадження діяльності з виробництва джерел іонізуючого виробництва;

в) Вимоги до звіту про аналіз безпеки провадження діяльності з використання джерел іонізуючого випромінювання;

г) Державні санітарні правила і норми «Гігієнічні вимоги до влаштування та експлуатації рентгенівських кабінетів і проведення рентгенологічних процедур»;

д) Вимоги до системи управління якістю проведення діагностичних та терапевтичних процедур з використанням джерел іонізуючого випромінювання;

е) Загальні правила радіаційної безпеки використання джерел іонізуючого випромінювання у медицині;

є) Положення про перелік та вимоги щодо форми та змісту документів, що подаються для отримання ліцензії на провадження окремих видів діяльності у сфері використання ядерної енергії;

ж) Вироби медичні електричні. Частина 1-3. Загальні вимоги щодо безпеки та основних робочих характеристик. Додаткові вимоги щодо радіаційного захисту в діагностичному рентгенівському обладнанні.

Документи міжнародних організацій:

а) GSR Part 3 Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Серия норм безопасности.

б) SSG-46 Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. Specific Safety Guide.

в) NCRP report No. 147 Structural Shielding Design for Medical X-rays Imaging Facilities.

### 1.3 Огляд сучасної рентгенівської діагностичної апаратури

Рентгенодіагностика – це найпоширеніший метод неінвазивного обстеження, діагностики та диференціювання захворювань у всіх розділах медицини: від терапії та травматології до стоматології. За умови правильного застосування іноді це єдиний метод встановлення та підтвердження діагнозу (наприклад, в травматології, стоматології). Проведення діагностичних процедур не потребує залучення висококваліфікованих кадрів, достатнім є наявність медичних фахівців з середньою спеціальною освітою, що пройшли відповідне навчання на курсах. А трактує отримані результати лікар відповідного профілю (рентгенолог-радіолог).

В Україні в більшості ЗОЗ є рентгенівські кабінети для діагностики, що робить дану процедуру більш доступною.

					БМ62.07.2505.1191	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



У сучасній медицині рентгенодіагностична апаратура, як і раніше, залишається домінуючою в променевій діагностиці захворювань людського організму. Незважаючи на бурхливий розвиток нових методів діагностики, таких як ультразвуковий, магнітно-резонансний, ендоскопічний, досі більша частина діагнозів встановлюється або підтверджується за допомогою рентгенівських досліджень. Наразі цифрові методи перетворення рентгенівських зображень перемогли плівкові реєстратори практично у всіх методах рентгенодіагностики. Створено понад десять моделей цифрових апаратів для флюорографії і рентгенографії з різними типами детекторів: скануючих на основі газових і твердотільних детекторів, рентгенографічних камер на основі оптики перенесення, із застосуванням електронних підсилювачів рентгенівського зображення [10].

Згідно з даними по розвиненим країнам, на кожну 1000 жителів припадає від 300 до 900 обстежень на рік – і це не враховуючи обстежень зубів і масової флюорографії [14].

З часу відкриття рентгенівських променів найбільш значимим досягненням у розробці методів рентгенодіагностики стала комп'ютерна томографія (далі – КТ). Її застосування під час обстежень дозволило зменшити дози опромінення шкіри у 5 раз, яєчників – в 25 раз у порівнянні з звичайними методами [14]. А в сучасних умовах проведення КТ є обов'язковою умовою для постановки кінцевого діагнозу та визначення тактики лікування.

Цифрова рентгенодіагностика не потребує додаткових витратних матеріалів, крім комп'ютерного обладнання, як при інших методах діагностики. Це визначає економічність та екологічність даного обладнання.

Найчастіше діагностичні рентгенологічні обстеження проводяться [15] за допомогою наступних приладів: мамографа, флюорографа, комп'ютерного томографа, рентгенографічного апарату, ангіографу, стоматологічних рентгенівських апаратів.

Принцип роботи рентгенодіагностичної апаратури полягає в тому, що з джерела випромінювання пучок рентгенівських променів проходить через досліджувану ділянку пацієнта і направляється на приймач, де енергія трансформується в зображення [10].

#### 1.4 Статистика використання ДІВ в Україні протягом останніх років

Статистику кількості ДІВ було взято з Доповідей про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні Держатомрегулювання за 2015 [16], 2016 [17], 2017 [2], 2018 [1], 2019 [18] роки.

Протягом 2016-2018 років кількість зареєстрованих ДІВ в Україні зростає, зокрема за цей період додалося 620 нерадіонуклідних установок (генераторів випромінювання), в тому числі і рентгенографічних (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Використання ДІВ в Україні в 2016 – 2018 роках

Параметр/ роки	2016	2017	2018	Абсолютне відхилення	Відносний приріст (%)
Радіонуклідні джерела	8736	8719	9034	298	103,4
Нерадіонуклідні установки	14 829	15135	15449	620	104,2
Всього ДІВ	23 565	23854	24483	818	103,5

Протягом 2015 – 2019 років кількість нерадіонуклідних установок, що генерують іонізуюче випромінювання, в тому числі і рентгенівські діагностичні апарати, зросла загалом на 17% (табл. 1.5). Найбільшим приріст був на території, що контролюється Північною та Західною інспекціями Держатомрегулювання – 29% і 20% відповідно (рис. 1.2). Держатомрегулювання здійснює державний нагляд в сфері використання ядерної енергії, що включає в тому числі діяльність з використання ДІВ, через свої територіальні інспекції ЯРБ. Загалом їх налічується вісім (на даний час функціонує сім, за винятком Кримської інспекції ЯРБ).

Таблиця 1.5 – Розподіл генераторів випромінювання за сферою контролю територіальними інспекціями Держатомрегулювання

Інспекція Держатомрегулювання	Кількість генераторів випромінювання				Абсолютне збільшення відносно попереднього року			Загальний приріст (%)
	2015	2016	2018	2019				
Північна	3449	3800	4115	4455	351	315	340	29,2%
Східна	2332	2390	2459	2649	58	69	190	13,6%
Центральна	1450	1520	1557	1675	70	37	118	15,5%
Південно-Східна	2526	2646	2750	2804	120	104	54	11,0%
Північно-Західна	1238	1290	1330	1350	52	40	20	9,0%
Західна	1730	1809	1885	2081	79	76	196	20,3%
Південна	1304	1374	1353	1412	70	-21	59	8,3%
Всього	14029	14 829	15449	16426	800	620	977	17,1%

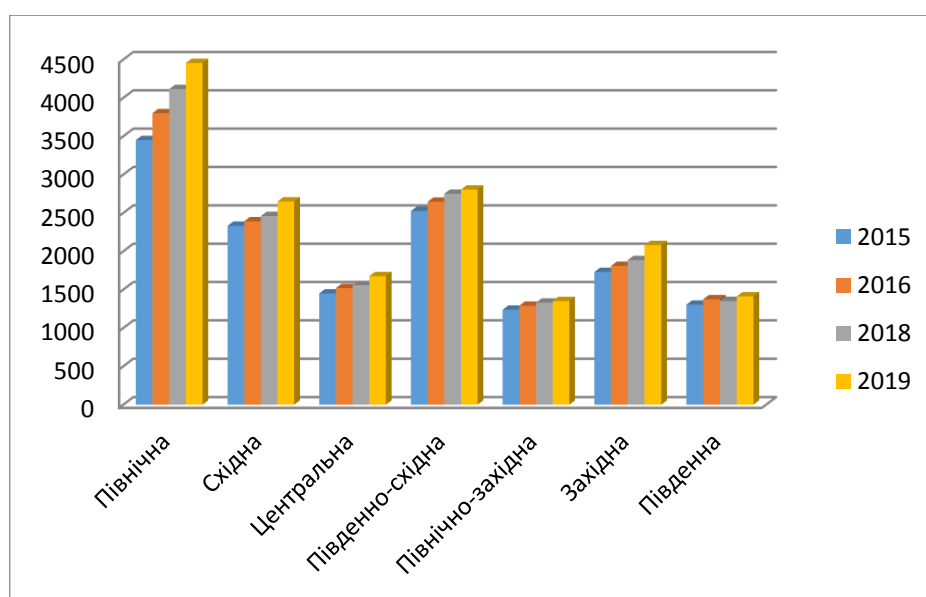


Рисунок 1.2 – Розподіл генераторів ІВ за сферою контролю територіальними інспекціями Держатомрегулювання протягом 2015-2019 рр.

Виробниками рентгенівських комплексів в Україні є: ЗАТ Київське виробниче об'єднання «Медапаратура», ТОВ «Завод рентгенівського обладнання «Квант», Фірма «РАДМІР», ТОВ «Науково-виробнича компанія «КРАС». Значна частина рентгенодіагностичних установок, що використовується в медичних закладах України, іноземного виробництва.

У 2014 році в Україні виготовлено 82 рентгенівських діагностичних комплекси, у 2015 році – 103, а у 2017 році – 57 (табл. 1.6). З цієї кількості вивезено за кордон у 2014 році 15 комплексів, у 2015 році – 9, а у 2017 році – 26.

Таблиця 1.6 – Інформація про виготовлення рентгенодіagnostичних апаратів та комплексів в Україні протягом 2014 – 2017 років

Підприємство-виробник	Тип генератору, що виготовлений	Виготовлено всього (в т.ч. вивезено за кордон), шт		
		2014	2015	2017
ЗАТ Київське виробниче об'єднання «Медапаратура»	Комплекс рентгенівський діагностичний з цифровою обробкою зображення РДК-ВСМ	8 (5)	11 (0)	7 (2)
	Флюорограф з цифровою обробкою зображення ФЦОЗ	22 (6)	10 (0)	3 (2)
ТОВ «Завод рентгенівського обладнання «Квант»	Комплекс рентгенівський діагностичний КРД-50 «INDIagrap»	11 (0)	7 (0)	5 (0)
	Комплекс рентгенівський діагностичний «INDIascop»	2 (0)	3 (0)	3 (0)
	Комплекс рентгенівський діагностичний «INDIascan»	7 (0)	6 (0)	1 (0)
Фірма «РАДМІР»	Комплекси рентгенівські мамографічні цифрові «МАДИС»	8 (4)	9 (4)	23 (19)
	Комплекси рентгенівські мамографічні цифрові «СИМА»	5 (0)	6 (5)	6 (3)
ТОВ «Наукововиробнича компанія «КРАС»	Апарат рентгенівський цифровий «Аспект»	1 (0)	3 (0)	1 (0)
	Апарат рентгенівський «І2Ф9 Україна»	10 (0)	27 (0)	-
	Апарат рентгенівський «КРАС 30/50»	4 (0)	-	-
	Комплекс рентгенівський діагностичний МЕДІКС	-	12 (0)	7 (0)
	Мамограф діагностичний ЛИБІДЬ	-	2 (0)	-
ТОВ «Телеоптік»	Комплекс рентгенівський діагностичний цифровий КРДЦ	4 (0)	7 (0)	1 (0)
Всього		82 (15)	103 (9)	57 (26)

Упродовж 2018 року в Україні виготовлено 292 генеруючих пристроїв іонізуючого випромінювання, з яких для потреб України – 59, а вивезено за кордон – 233. З цих генеруючих пристроїв – 57 рентгенівських діагностичних комплексів [1].

## 1.5 Аналіз сучасного стану ІДК медичних працівників в Україні

У 2018 році Центральна лабораторія радіаційної безпеки та дозиметрії медичного опромінення (далі – ЦЛРБ ДМО) НАМН України опублікувала Звіт про результати аналізу даних централізованого індивідуального дозиметричного контролю (далі – ІДК) медичних працівників України [19].

Централізований ІДК медичних працівників України створений з метою моніторингу та аналізу отриманих індивідуальних доз опромінення медичним персоналом при роботі з апаратами променевої та рентгенівської терапії, рентгенівської діагностики тощо. Одним із завдань аналізу є виявлення груп підвищеного ризику, які отримують найбільші дози опромінення, згідно з НРБУ-97 [11] ліміт річної дози опромінення персоналу категорії А становить 20 мЗв/рік.

У 2018 році на централізованому ІДК у ЦЛРБ ДМО перебувало 6053 особи персоналу категорії А з 710 медичних закладів/установ України [19].

Найбільша кількість медичного персоналу категорії А працює в рентгенодіагностиці – 69,2%, а найменша – в рентгенотерапії (1%) (рис. 1.3).

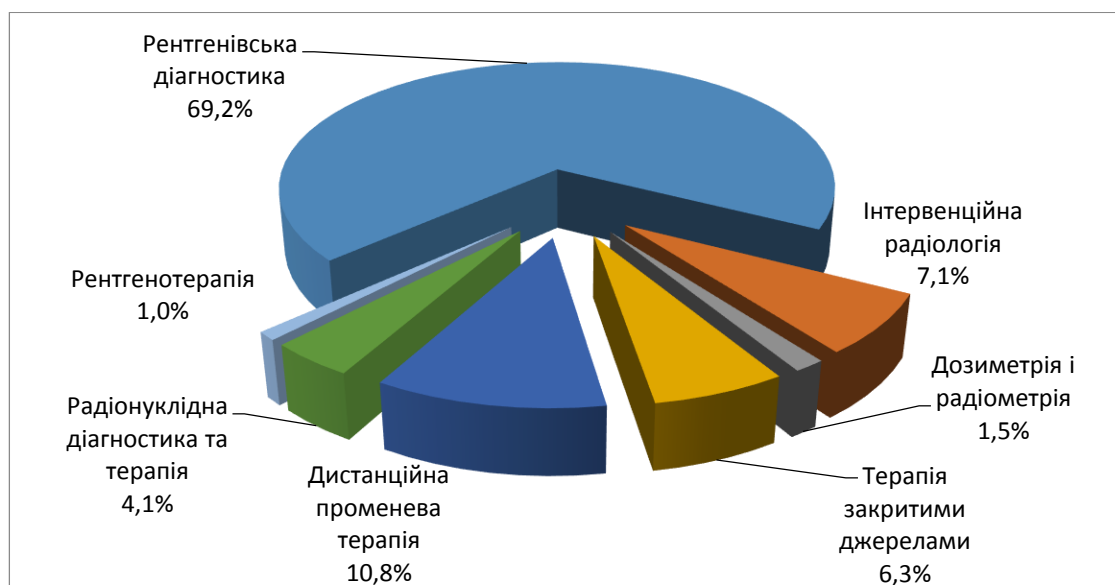


Рисунок 1.3 – Розподіл кількості медичного персоналу за видами робіт з ДІВ у 2018 році [19]

Розподіл колективних доз медичного персоналу показаний на рис. 1.4.

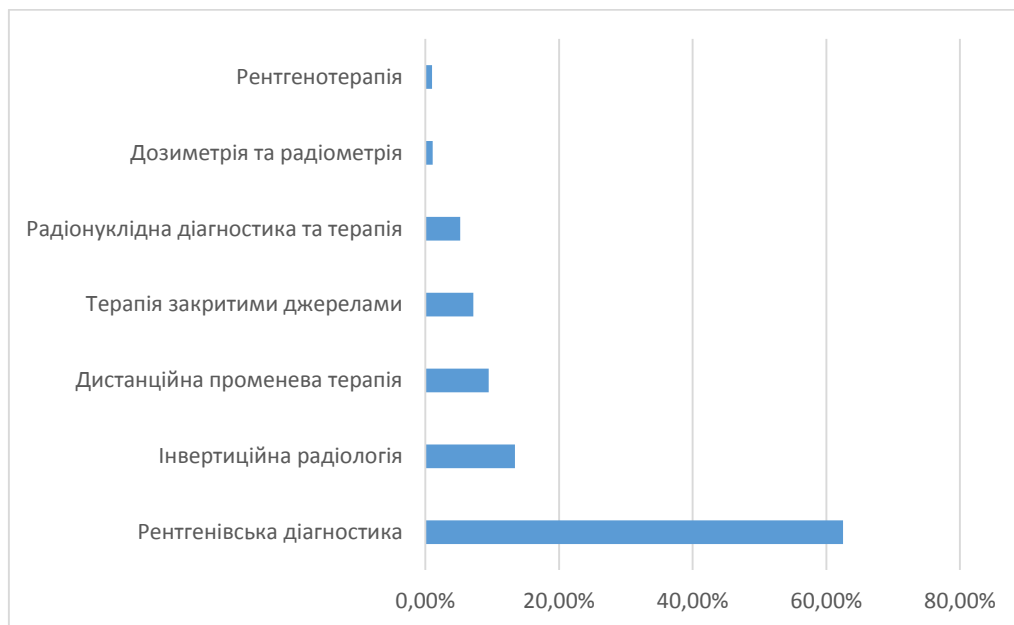


Рисунок 1.4 – Розподіл колективних доз медперсоналу за результатами централізованого ІДК у 2018 році

Колективна ефективна доза медичного персоналу рентгенодіагностичних відділень / кабінетів склала 62,5 % від сумарної колективної дози персоналу, який перебував на централізованому ІДК в ЦЛРБ ДМО [19].

Узагальнена середньорічна доза медичного персоналу по всіх медичних закладах України при роботі з джерелами гамма-випромінювання склала 0,58 мЗв, при роботі з джерелами рентгенівського випромінювання – 0,54 мЗв [19].

## 1.6 Основні заходи радіаційного захисту

### 1.6.1 Види захисту від рентгенівського випромінювання

Для можливості функціонування рентгенівських відділень розроблені та затверджені Державні будівельні норми України «Будинки і споруди. Заклади охорони здоров'я» (ДБН В.2.2-10-2001) [20].

Площа приміщень рентгенівських відділень в ЗОЗ наведено у витягу з таблиці Л.9 додатку Л ДБН В.2.2-10-2001 [20]. Огороджувальні конструкції процедурних рентгенодіagnostичних кабінетів, комп'ютерної томографії і рентгеноопераційних повинні мати стаціонарний захист від іонізуючого випромінювання [20].

Вибір необхідних заходів захисту від рентгенівського випромінювання залежить від типу обладнання та його клінічного призначення, а також від завантаженості та призначення суміжних кабінетів.

Згідно з пунктом 3.93 GSR Part 3 [21] роботодавець, зареєстровані особи та ліцензіати повинні зводити до мінімуму необхідність застосування адміністративних заходів і засобів індивідуального захисту (далі – ЗІЗ) для забезпечення захисту і безпеки, використовуючи добре розроблені інженерно-технічні заходи і забезпечуючи задовільні умови праці у відповідності з наступним ієрархічним порядком превентивних заходів:

- інженерно-технічні заходи;
- адміністративні заходи;
- ЗІЗ.

Приміщення для проведення рентгенодіagnostики можна поділити на 4 наступні категорії [22]:

- а) рентгенографія (наприклад, загальна, грудної клітини, стоматологічна, мамографія тощо);
- б) флюороскопія;
- в) комп'ютерна томографія (КТ);
- г) кімнати для загального функціонування (наприклад, операційні), де може використовуватися мобільне або стаціонарне рентгенівське обладнання (наприклад, ангиографи).

Відповідно до зазначеної класифікації особливості конструкції рентген-апаратів, їх технічні характеристики та специфіка проведення

рентгенодіагностичних процедур (режими експлуатації) обумовлюють вибір матеріалу і товщини біологічного захисту процедурних приміщень.

#### 1.6.2 Основні загальні рекомендації при проектуванні рентгенологічного кабінету

Основні загальні рекомендації для захисту від рентгенівського випромінювання при проектуванні рентгенодіагностичного кабінету:

- особливу увагу слід приділити екрануванню ділянок, куди буде спрямований первинний струмінь [22];
- рентгенівський апарат повинен розташовуватися таким чином, щоб пучок первинного випромінювання був спрямований у бік капітальної стіни, за якою розміщується приміщення, у якому не передбачено постійне перебування персоналу та пацієнтів [23];
- прямий струмінь випромінювання не має бути спрямований в напрямку оглядового вікна кімнати управління [23];
- при розташуванні кабінету на першому поверсі на відстані до житлових і службових споруд менше 30 м вікна процедурної необхідно екранувати захисними віконницями заввишки 2 м від рівня підлоги [23];
- підлога приміщення має бути екранованою, якщо під кабінетом знаходиться приміщення, в якому перебувають люди [22];
- для додаткового захисту персоналу повинні бути передбачені ЗІЗ;
- радіаційні попереджувальні табло повинні бути розміщені на всіх дверях та на рівні очей. Табло повинно світитися протягом періоду підготовки (якщо це необхідно) і тривати протягом дослідження;
- Пульт управління рентгенівських апаратів, крім пересувних, палатних, хірургічних, флюорографічних, дентальних, мамографічних, апаратів для остеоденситометрії, має розташовуватися в кімнаті управління.



Тут саме допускається встановлення ще одного рентгенотелевізійного монітора, АРМ рентгенолога і рентгенлаборанта. Для забезпечення можливості контролю за станом пацієнта мають бути передбачені оглядове вікно й переговорний пристрій гучномовного зв'язку [23];

- процедурна з рентгенодіагностичним апаратом не повинна бути прохідною;
- слід враховувати проєктування допоміжних приміщень, таких як кабінки для переодягання, туалети та приміщення для підготовки до дослідження [22].

### 1.6.3 Заходи захисту в рентгенографічних кабінетах

Результатом рентгенографічного дослідження є двовимірне зображення певних органів та систем, на відміну від комп'ютерної томографії.

Зазвичай персонал не повинен перебувати поруч із пацієнтом під час процедури. Зазвичай ці кімнати містять стаціонарний екран для захисту кімнати управління, де знаходиться персонал категорії А. Конструктивним рішенням кабінету має бути передбачена можливість спілкування персоналу з пацієнтом для виконання останнім певних дій («Вдихнути – не дихати», «Не ворухнитись» тощо). Крім того, приміщення повинні бути достатньо великими, щоб зменшити інтенсивність випромінювання на екрані між процедурною з пацієнтом і кімнатою управління. Приклад плану рентгенологічного кабінету зображено на рисунку 1.5.

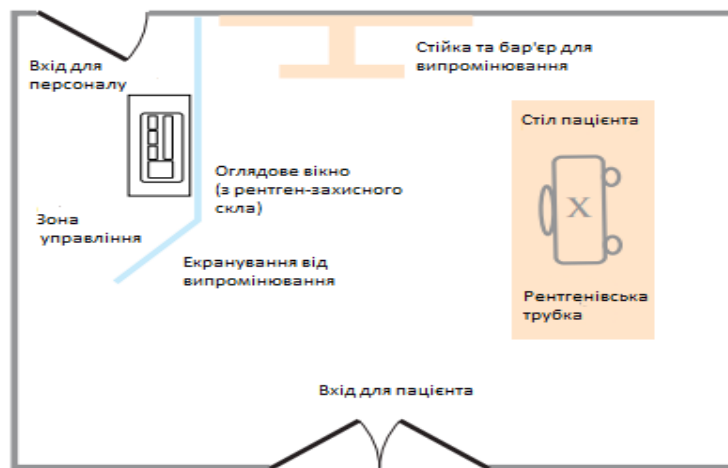


Рисунок 1.5 – Кабінет діагностичної рентгенографії [22]

В даному рентгенологічному кабінеті є можливість використовувати як стіл для пацієнта, так і стійку для знімків грудної клітини.

Для загальних рентгенівських кабінетів рекомендується площа приміщення 33 м<sup>2</sup> [23].

До рентгенографічних досліджень також належить проведення мамографії. Схема приміщення для мамографії зображена на рисунку 1.6.

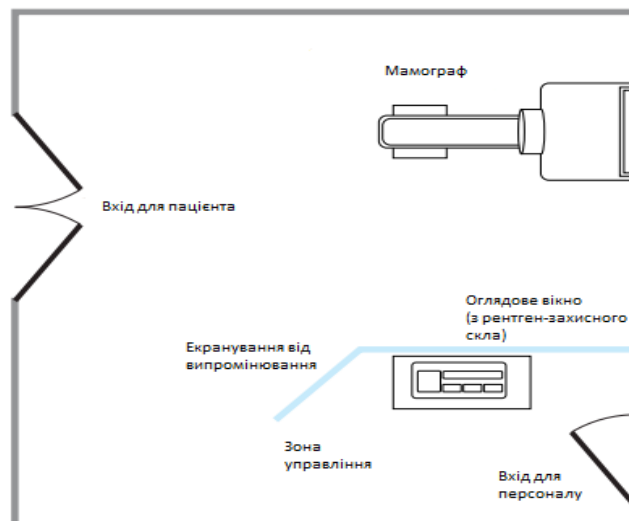


Рисунок 1.6 – Приклад плану проектування рентгенологічного кабінету для мамографії [22]

Мамографічні кабінети можуть бути меншими за розмірами, ніж інші рентгенологічні приміщення, а вимоги до екранування менші через низьку енергію рентгенівських променів. Оцінюючи вимоги до екранування від

рентгенівського випромінювання, що генерується мамографом слід розглядати лише розсіяне випромінювання. При цій процедурі практично все випромінювання буде поглинуте тілом пацієнта.

#### 1.6.4 Заходи захисту в кабінетах комп'ютерної томографії

Комп'ютерна томографія дозволяє отримати поперечний переріз (за потребою серію пошарових зображень), а в сучасних апаратах є можливість отримання 3-D зображень. Ці системи дозволяють значно швидше сканувати пацієнта. Приклад плану приміщення комп'ютерної томографії зображено на рис. 1.7.

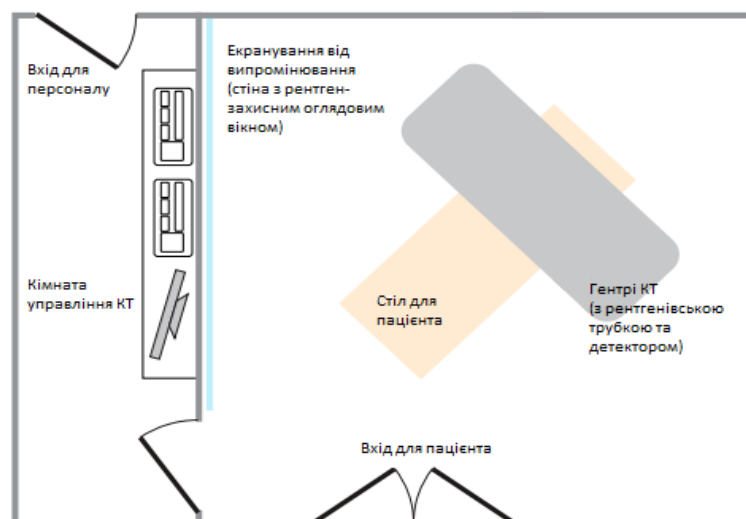


Рисунок 1.7 – План процедурного приміщення з КТ та кімнатою управління [22]

На персонал, який перебуває в кімнаті управління, покладено значно більше функцій (наприклад, визначення напрямку гентрі (дуги, кола) апарату КТ, обробка зображень), ніж при роботі з рентгенографічним апаратом. Зазвичай в цьому приміщенні є оглядове вікно (з рентген-захисного скла), що дозволяє спостерігати за пацієнтом та двері в процедурну з апаратом КТ. Для дотримання правил коректного проведення процедури необхідно забезпечити

спілкування з пацієнтом за допомогою переговорного пристрою, оскільки двері між КТ та кімнатою управління повинні залишатися закритими під час опромінення.

Товщина необхідного захисту залежить від типу системи КТ. Висока пропускна здатність кількості пацієнтів, яка притаманна сучасним багатошаровим та спіральним КТ, призводить до збільшення часу впливу іонізуючого випромінювання на персонал, що знаходиться в суміжних приміщеннях.

На відміну від приміщень для проведення інтервенційних процедур, розподіл розсіяного випромінювання в приміщенні КТ чітко визначений, оскільки положення гентрі є фіксованим, а рентгенівська трубка дотримується однакової траєкторії обертання для кожного опромінення. Криві ізодози для кожного сканера зазвичай доступні у документації виробника, і їх слід використовувати для визначення вимог до екранування при введенні в експлуатацію апарату.

#### Висновки до розділу 1

За наведеними статистичними даними, враховуючи чинні допустимі рівні опромінення для персоналу та населення, основні вимоги до кабінетів, де встановлюються рентгенодіагностичні апарати, розділом 1 підтверджується актуальність розроблення інструменту автоматизованого розрахунку захисту рентгенодіагностичних кабінетів відповідно до правил і норм ЯРБ.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

2.1 Методи розрахунку біологічного захисту рентгенодіagnostичних кабінетів

2.1.1 Метод розрахунку захисту за ДСанПіН 6.6.3-150-2007

Вимоги до стаціонарних засобів радіаційного захисту наведені в розділі 3 Державних санітарних правил і норм «Гігієнічні вимоги до влаштування та експлуатації рентгенівських кабінетів і проведення рентгенологічних процедур» (далі – ДСанПіН 6.6.3-150-2007) [23].

Відповідно до методики розрахунку стаціонарного біологічного захисту, яка викладена в цьому розділі спочатку розраховується кратність ослаблення (К) рентгенівського випромінювання на основі технічних характеристик окремого рентгенівського апарата, геометрії розташування обладнання і конструкцій, а також величини необхідної дози в місці розрахунку.

Кратність ослаблення – це відношення дози / потужності дози в місці розрахунку, яка створюється рентгенівським апаратом без бар'єрного захисту до допустимої дози / допустимої потужності дози (далі – ДПД). Фактично неперевикнення ДПД – це критерій при влаштуванні захисту рентгенівського кабінету. В основному і відповідно до ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23] ДПД задаються в місці розрахунку безпосередньо за захисним огороженням процедурної рентгенівського апарата (стіни, підлога, стеля, захисні двері, оглядові вікна, віконниці тощо). Неперевикнення ДПД забезпечує дотримання річного ліміту дози (далі – ЛД), встановленого НРБУ-97 [11] для відповідної категорії осіб, що опромінюються. Пунктом 9.1.4 ОСПУ-2005 [24] передбачено, що проектування захисту а відповідно розрахунок кратності ослаблення

необхідно здійснювати з коефіцієнтом запасу 2 на проектування. Це досягається шляхом ділення ДПД на 2.

Відповідно до ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23] К розраховується за формулою (2.1).

$$K = \frac{PD_0}{ДПД} = \frac{H \cdot W \cdot N}{30 \cdot r^2 \cdot ДПД}, \quad (2.1)$$

де  $PD_0$  – потужність поглинутої в повітрі дози випромінювання від рентгенівського апарату без біологічного захисту бар'єру, що розраховується;

$H$  – радіаційний вихід: поглинута доза в повітрі на первинному пучку випромінювання на відстані 1 метр від фокусної плями рентгенівської трубки, при навантаженні рентгенівського апарата в 1 мАхв при заданій прискорювальній напрузі на трубці, мГр·м<sup>2</sup>/мАхв;

$W$  – робоче навантаження рентгенівського апарата, величина, яка, через зручність, виражається в одиницях електричного заряду, що переноситься до аноду, мАхв;

$N$  – коефіцієнт спрямованості випромінювання;

30 – тривалість роботи рентгенівського апарата на тиждень при однозмінній роботі персоналу категорії А (30-годинний робочий тиждень);

$r$  – відстань від фокуса рентгенівської трубки до точки розрахунку.

Відстань від фокуса рентгенівської трубки до розрахункової точки, що знаходиться за біологічним стаціонарним захистом, визначають за проектною документацією на рентгенівський кабінет, а також відповідно до пункту 3.2 ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23].

Значення ДПД при стаціонарному біологічному захисті процедурної рентгенівського кабінету розраховують, виходячи з основних ЛД (мЗв/рік), які зазначені в табл. 5.1 НРБУ-97 [11] для відповідних категорій осіб, що

опромінюються, і можливої тривалості їх перебування у приміщеннях різного призначення чи на території, за формулою 2.2.

$$\text{ДПД} = \frac{\text{ЛД}}{t_c \cdot n \cdot q}, \quad (2.2)$$

$$t_p = t_c \cdot n$$

де  $t_c$  – стандартизована тривалість роботи рентгенівського апарата протягом року; при однозмінній роботі персоналу категорії А  $t_c = 1500$  годин на рік (30-годинний робочий тиждень);

$n$  – коефіцієнт змінності, що враховує можливість двозмінної роботи рентгенівського апарата, а також додаткове опромінення персоналу категорії Б і населення (категорія В), яке вони отримують за час після 1500 годин опромінення за рік; відповідно  $t_p$  – це час опромінення;

$q$  – коефіцієнт зайнятості приміщення, що враховує максимально можливий час перебування людей у зоні опромінення в окремому приміщенні чи території.

У табл. 3 пункту 3.8 ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23] наведені регламентовані значення ДПД при проектуванні біологічного захисту рентгенівського кабінету, а також значення коефіцієнтів зайнятості  $q$ , змінності  $n$ , тривалості опромінювання  $t_p$  та ЛД для приміщень різного призначення та території.

Стандартизовані значення робочого навантаження  $W$  та напруги на аноді рентгенівської трубки (прискорювальна напруга, напруга на трубці) для розрахунку біологічного захисту наведені в табл. 2 пункту 3.7, для дентальних апаратів – в табл. 7 пункту 8.1 ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23].

Значення  $H$  береться з технічної документації на конкретний рентгенівський випромінювач, обов'язково перевіряється шляхом безпосередніх вимірювань перед введенням в експлуатацію нового

					БМ62.07.2505.1191	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

випромінювача і надалі – не рідше ніж 1 раз на 2 роки. На етапі проєктування біологічного стаціонарного захисту рентгенівського кабінету, відповідно до методики ДСанПіН 6.6.3-150-2007, за відсутності даних, значення  $N$  береться із табл. 1 додатку 6 ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23].

Коефіцієнт спрямованості  $N$  враховує ймовірність напрямку первинного пучка випромінювання. У напрямку первинного пучка рентгенівського випромінювання значення  $N$  приймають рівним 1. Для апаратів з джерелом випромінювання, яке рухається під час одержання зображення (комп'ютерний і традиційний томографи, панорамний апарат, сканувальні апарати), значення  $N$  приймають рівним 0,1. У всіх інших напрямках, куди потрапляє тільки розсіяне випромінювання, значення  $N$  приймають рівним 0,05.

Відповідно до розрахованого  $K$  та значення напруги на аноді рентгенівської трубки визначається значення свинцевого еквіваленту захисту з табл. 2 додатку 6 ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23].

Згідно з пунктом 3.14 ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23] при проєктуванні біологічного захисту процедурної рентгенівського кабінету необхідно виділити ділянки, для яких розрахунок захисту проводять для ослаблення первинного пучка рентгенівського випромінювання, а решта засобів захисту має забезпечувати ослаблення тільки розсіяного проміння. Для остеоденситометрів, комп'ютерних томографів, мамографів, флюорографів, ортопантомографів розрахунок біологічного стаціонарного захисту проводять тільки від розсіяного випромінювання згідно з ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23].

Потрібно також враховувати те, що якщо підлога процедурної рентгенівського кабінету розташована над ґрунтом чи стеля розміщена безпосередньо під дахом, захист від випромінювання в цих напрямках не передбачається згідно з пунктом 3.15 ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23].

Товщину еквівалентного захисту із будівельних та спеціальних матеріалів встановлюють з табл. 3 додатку 6 ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23]. В залежності від

					БМ62.07.2505.1191	Лист
						32
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



результатів розрахунку захисту може виникнути необхідність використання додаткових захисних огорожуючих конструкцій – захисних екранів (якщо фактична товщина будівельних конструкцій, які огорожують приміщення із рентгенівським апаратом, менша за розраховану еквівалентну товщину).

### 2.1.2 Метод розрахунку за NCRP REPORT No.147

У документі NCRP REPORT No.147 [25] наведені рекомендації для проєктування конструкційного захисту медичних рентгенівських кабінетів. Загальні дані про рентгенівські апарати, такі як рентгенографічні, флюороскопічні, інтервенційні установки, мамографи, установки комп'ютерної томографії, стоматологічні рентгенівські апарати, та ін. наведені у підрозділі 2.2 NCRP REPORT No.147 [25]. Елементи конструкції рентгенівського кабінету та опис матеріалів, які часто використовуються для захисту наведені у підрозділі 2.3 NCRP REPORT No.147 [25].

Методика розрахунку екранування від рентгенівського випромінювання наведена у розділі 4 NCRP REPORT No.147 [25].

Фундаментально, методика розрахунку ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [25] і NCRP REPORT No.147 [25] засновується на розрахунку коефіцієнта ослаблення, а у випадку NCRP REPORT No.147 [25] використовується коефіцієнт пропускання випромінювання В (обернена величина до К).

Метою розрахунку екранування є визначення товщини бар'єру, якої буде достатньо для зменшення керми в повітрі до значення  $\leq$  ДПД (0,02 мГр/тиждень для персоналу категорії Б; 0,1 мГр/тиждень для персоналу категорії А при повній занятості).

Керма – це сума початкових кінетичних енергій всіх заряджених частинок, звільнених незарядженим іонізуючим випромінюванням

					БМ62.07.2505.1191	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

(наприклад, фотонним або нейтронним) у зразку речовини, що віднесена до маси зразка.

Керма в загальному випадку відрізняється від поглиненої дози. При низьких енергіях первинного випромінювання керма приблизно дорівнює поглиненій дозі, тоді як при високих енергіях керма набагато вище, оскільки частина енергії виходить за обсяг поглинання в формі гальмівного випромінювання або швидких електронів.

Для неповної зайнятості приміщення, наприклад для коридору, вводиться корекція у вигляді коефіцієнту зайнятості –  $T$  ( $0 < T \leq 1$ ). Значення даного коефіцієнту наведені у табл. 4.1 NCRP REPORT No.147 [25].

Для розрахунку спочатку обирається значення керми в повітрі на відстані 1 м, що створиться при середньому робочому навантаженні на одного пацієнта конкретного рентгенодіагностичного апарата –  $K^1$ . Розрахункові значення наведено в табл. 4.5 і табл. 4.7 NCRP REPORT No.147 [25] відповідно розподілу робочого навантаження окремого рентгенодіагностичного обладнання і типу випромінювання.

Виокремлюють наступні типи випромінювання:

а) первинне (бар'єри/біологічний захист відповідно називаються первинними) – випромінювання, яке виходить з фокусної плями прямо до точки розрахунку. Випромінювання проходить через тіло пацієнта і детектор. Поглинання в тілі пацієнта консервативно не враховується, а в детекторі враховується величиною попереднього захисту –  $x_{pr}$ , розраховані значення якої для різних детекторів наведені в табл. 4.6 NCRP REPORT No.147 [25];

б) вторинне (бар'єри/біологічний захист відповідно називаються вторинними). Типи вторинного випромінювання:

1) витоку – випромінювання, яке виходить з фокусної плями через корпус рентгенівської трубки до точки розрахунку. Корпуси усіх рентгенівських трубок мають свинцевий захист, однак він повністю не поглинає даний тип випромінювання;

2) розсіяне – випромінювання, яке виходить з фокусної плями рентгенівської трубки до місця розсіювання (пацієнта), а потім від пацієнта до точки розрахунку. Виділяють три типи розсіювання: уперед, назад, убік.

В NCRP REPORT No.147 [25] виділяють такі розподіли робочого навантаження:

а) рентгенодіагностичний кабінет (підлога або інші бар'єри) (Rad room floor or other barriers) – це фракція загального випромінювання рентгенодіагностичного апарату, яка містить в собі напрями випромінювання вниз або в інші напрямки (бокові знімки), але не містить напрямку до вертикальної стійки для знімків. Використовується для первинного і вторинного випромінювання, розподіл робочого навантаження показано на рис. 2.1;

б) рентгенодіагностичний кабінет (вертикальна стійка для знімків) (Rad room chest bucky) – це фракція загального випромінювання рентгенодіагностичного апарату, яка містить в собі тільки напрямки випромінювання до вертикальної стійки для знімків. Використовується для первинного і вторинного випромінювання, розподіл робочого навантаження наведений на рис. 2.2;

в) рентгенодіагностичний кабінет (усі напрямки випромінювання) (Rad room all barriers) – це фракція загального випромінювання рентгенодіагностичного апарату, яка містить в собі тільки вторинне випромінювання всіх напрямків. Розподіл робочого навантаження показано на рис. 2.3;

г) кардіографічна ангіографічна система (Cardiac angiography), використовується тільки для вторинного випромінювання, розподіл робочого навантаження наведений на рис. 2.4;

д) периферійна ангіографічна система (Peripheral angiography) призначена тільки для роботи з судинами, операції на серці не виконуються,

					БМ62.07.2505.1191	Лист
						35
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

використовується тільки для вторинного випромінювання. Розподіл робочого навантаження приведений на рис. 2.5;

е) мамографічний кабінет (Mammography room) використовується тільки для вторинного випромінювання. Розподіл робочого навантаження показано на рис. 2.6.

NCRP REPORT No.147 [25] містить ще наступні розподіли робочого навантаження: флюороскопічний кабінет (флюороскопічна трубка) (Fluoroscopy tube R&F room); кабінет дослідження грудної клітини (Chest room), проте ці апарати наразі встановлюються дуже рідко в Україні.

Описані вище розподіли робочого навантаження – це розподіл навантаження рентгенівського апарата в залежності від прискорювальної напруги, яка використовувалась при різних дослідженнях, в окремо взятому випадку. Наведені на рисунках 2.1 – 2.6 розподіли нормовані на одного пацієнта.

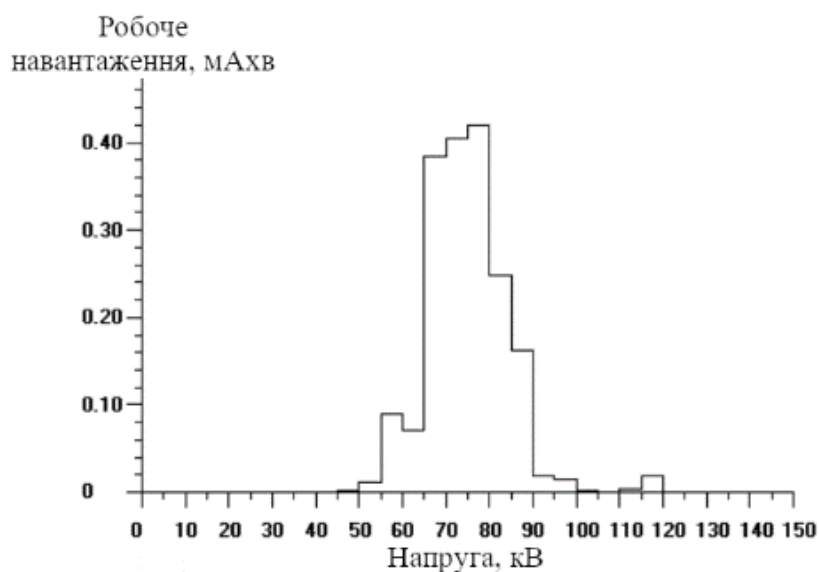


Рисунок 2.1 – Розподіл робочого навантаження рентгенодіагностичного кабінету (підлога або інші бар'єри) [26]

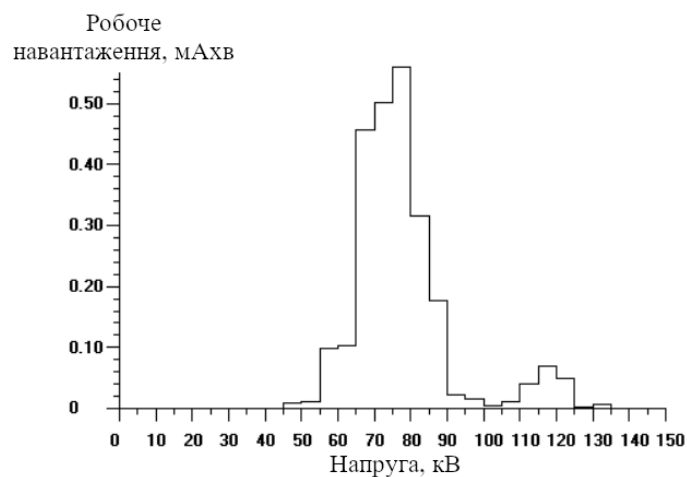


Рисунок 2.2 – Розподіл робочого навантаження рентгенодіагностичного кабінету (вертикальна стійка для знімків) [26]

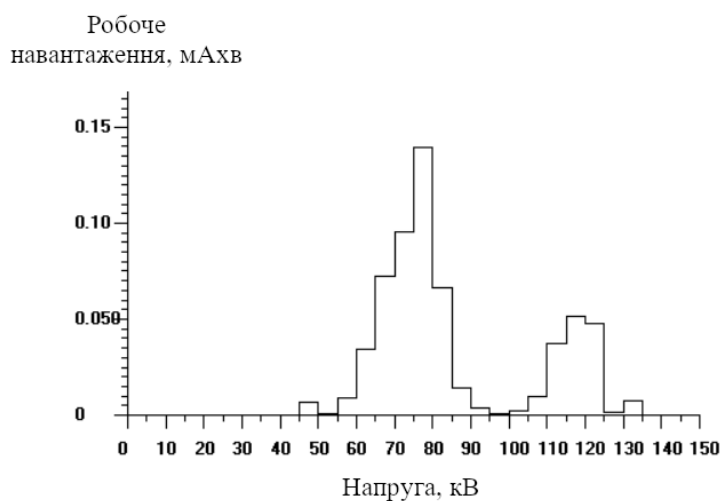


Рисунок 2.3 – Розподіл робочого навантаження рентгенодіагностичного кабінету (усі напрямки випромінювання) [26]

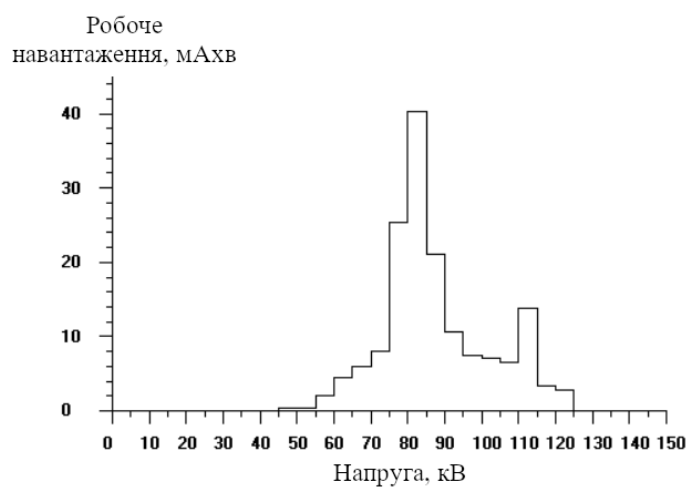


Рисунок 2.4 – Розподіл робочого навантаження кардіографічної ангіографічної системи [26]

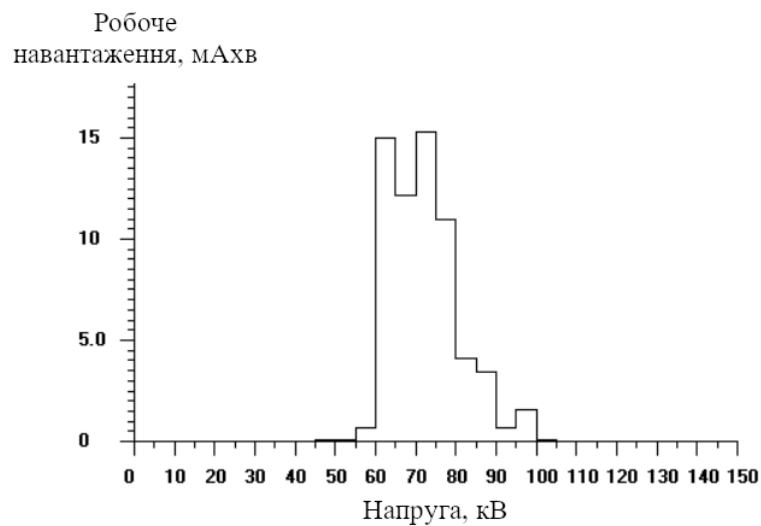


Рисунок 2.5 – Розподіл робочого навантаження кардіографічної ангіографічної системи [26]

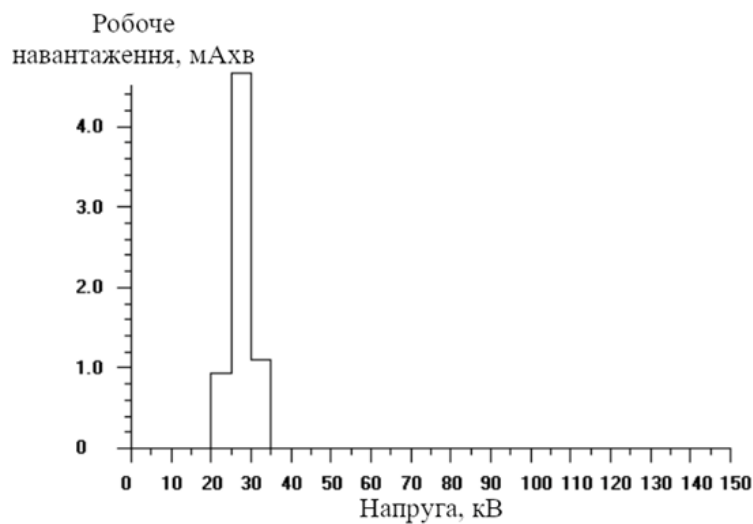


Рисунок 2.6 – Розподіл робочого навантаження мамографічного кабінету [26]

Після того, як обрано  $K^1$  проводиться розрахунок коефіцієнту пропускання за формулою 2.3.

$$B = \frac{ДПД \cdot r^2}{K^1 \cdot N_{\pi} \cdot U}, \quad (2.3)$$

де ДПД – допустима потужність дози;

$r$  – відстань від рентгенівської трубки до проектованого захисту;

$N_{\text{п}}$  – очікувана кількість пацієнтів, які будуть обстежені протягом тижня;

$U$  – коефіцієнт використання (частина робочого часу) окремого направлення променю.

Для складених розподілів робочого навантаження, таких як рентгенодіагностичний кабінет (підлога або інші бар'єри),  $U$  приймає різні значення  $< 1$ , але сумарно для всіх напрямків  $U=1$ , тобто для вторинного випромінювання  $U=1$ . Значення коефіцієнту використання ( $U$ ) наведено в табл. 4.4 пункту 4.1.5 NCRP REPORT No.147 [25].

Відповідно до отриманого значення коефіцієнту пропускання випромінювання ( $B$ ) проводиться розрахунок еквівалентної товщини матеріалу. У додатках В і С документа NCRP REPORT No.147 [25] наведені параметри пропускання рентгенівського випромінювання ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) для первинного і вторинного випромінювання відповідно.

Для розрахунку товщини захисту ( $x_{\text{barrier}}$ ) використовується формула 2.4.

$$x_{\text{barrier}} = \frac{1}{\alpha \cdot \gamma} \cdot \ln \left[ \frac{B^{-\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right] - x_{\text{pr}} \quad (2.4)$$

Параметри  $\alpha$  (1/мм),  $\beta$  (1/мм),  $\gamma$  (безрозмірний) залежать від матеріалу захисту, розподілу робочого навантаження (фактично, типу апарата) та типу випромінювання. У випадку розрахунку вторинного випромінювання  $x_{\text{pr}} = 0$ , якщо в напрямку вторинного випромінювання відсутні додаткові бар'єри, наприклад ширми.

Аналогічні кроки використовуються для розрахунку захисту кабінетів комп'ютерної томографії.

### 2.1.3 Порівняння методик розрахунку

Обидві методики ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23] і NCRP REPORT No.147 [25] використовують відношення ДПД до дози в точці розрахунку, що утворюється за рахунок використання рентгенівського апарата без урахування ослаблення в біологічному захисті.

ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23] для розрахунку необхідного захисту базується на єдиному значенні радіаційного виходу для єдиного значення розрахункової напруги і єдиного значення робочого навантаження (для кожного типу апарату встановлені своя напруга та робоче навантаження, в залежності від напруги встановлюється радіаційний вихід).

NCRP REPORT No.147 [23] базується на розподілі напруги і робочого навантаження, тому кожному розподілу і типу випромінювання відповідає своє значення  $K^1$ . Розподіли були встановлені на основі досліджень [27], до яких були залучені 14 медичних закладів і 2500 пацієнтів. Наглядно порівняння розподілу з одним значенням робочого навантаження і прискорювальної напруги проілюстровано на рис. 2.7.

Кожне дослідження, яке проводиться на рентгенівських апаратах є унікальним. Рентгенолог або медичний фізик на основі вхідних даних пацієнта (маса тіла, місце дослідження тощо) встановлює параметри опромінення, тобто в кожному випадку, як прискорювальна напруга так і робоче навантаження різне (див. рис. 2.1 - 2.7).



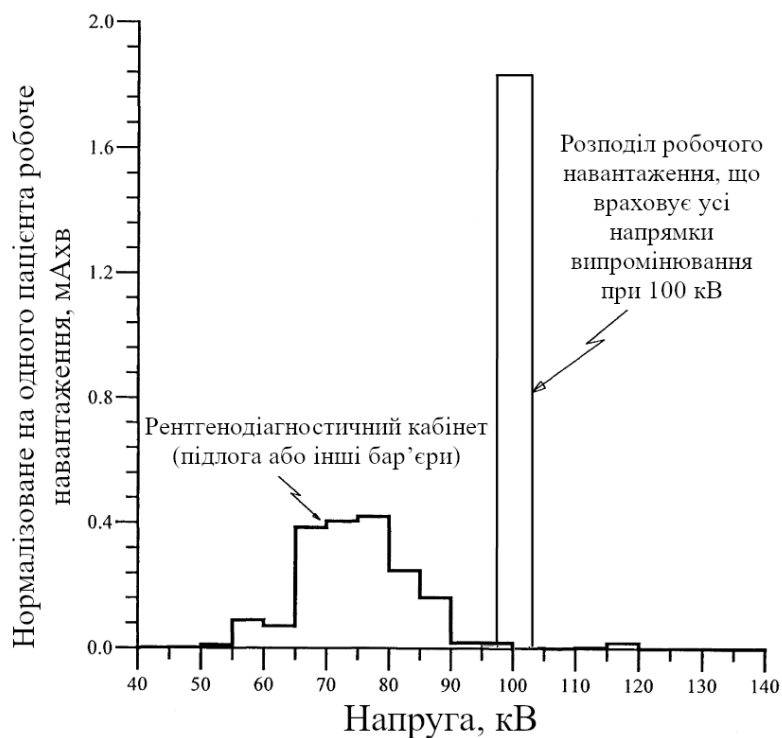


Рисунок 2.7 – Порівняння розподілу робочого навантаження з незмінним значенням робочого навантаження для значення напруги 100 кВ NCRP  
REPORT No.147 [25]

Для звичайної рентгенодіагностики напруга не завжди становить 100 кВ, а значення розподілені від 45 кВ до 140 кВ. Неврахування цього є дуже консервативним наближенням, оскільки товщина захисту значно залежить від значення прискорювальної напруги: чим більша напруга, тим більша товщина необхідного захисту при рівних інших параметрах розрахунку. Різниця в значеннях свинцевих еквівалентів для незмінної напруги 100 кВ і розподілу рентгенодіагностичного кабінету (підлога або інші бар'єри) видно на рис. 2.8.

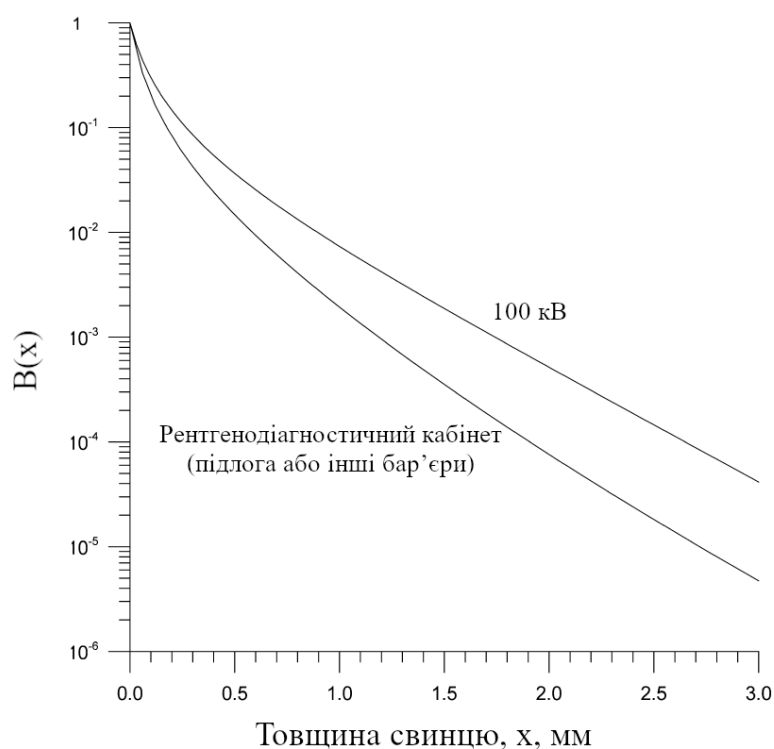


Рисунок 2.8 – Порівняння необхідної товщини свинцю для захисту у випадку розподілу робочого навантаження та незмінного значення робочого навантаження для значення напруги 100 кВ NCRP REPORT No.147 [25]

Завдяки тому, що методика NCRP REPORT No.147 [25] використовує різні значення  $K^1$  для первинного і вторинного випромінювання, які розраховані на основі реальних вимірів дози і досліджених розподілів робочого навантаження для кожного конкретного випадку (апарата), досягається зниження надлишкового консерватизму.

В методиці ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23] використовується значення коефіцієнту спрямованості  $N = 0,05$  і  $0,1$  для джерел випромінювання, що рухаються (наприклад, КТ) для врахування розсіяного випромінювання. Однак дозиметричні вимірювання при вводі рентгенівського обладнання в експлуатацію показують, що для вторинного випромінювання значення  $N$  є дуже консервативними.

Отже, методики NCRP REPORT No.147 [25] і ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23] фундаментально різні, хоча схеми розрахунку необхідного захисту дещо схожі. Методика NCRP REPORT No.147 [25] є більш різноманітною і

наближеною до реальності з точки зору врахування різних можливих напрямків випромінювання і особливостей різних апаратів, за рахунок цього є менш консервативною ніж методика ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23]. Разом з цим NCRP REPORT No.147 [25] не враховує поглинання опромінення тілом пацієнта та при розрахунку первинного випромінювання регламентує консервативні значення  $T$ . Проте еквівалентні значення  $q$  в ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23] є ще більш консервативними.

Різниця значень свинцевих еквівалентів при розрахунку первинних, а особливо вторинних бар'єрів, між методиками ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23] і NCRP REPORT No.147 [25] може досягати 0,5 – 1,0 мм, що є вагомим.

Підсумовуючи вище сказане, використання методики NCRP REPORT No.147 [25] з консервативними значеннями ДПД з ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [23] є надійним інструментом розрахунку біологічного захисту рентгенодіagnostичних кабінетів, оскільки досягається прийнятний баланс реальності і консервативності. Це було враховано при створенні інформаційної системи.

## 2.2 Загальний огляд програми XRAYBARR

У 1996 році для розрахунку товщини захисту від рентгенівського випромінювання розроблена та запатентована Дугласом Дж. Сімпкіном програма XRAYBARR X-ray Shielding Calculation v1.5 (далі – XRAYBARR).

Згідно з документацією [26] XRAYBARR – це програма для розрахунку товщини свинцю, бетону, гіпсу, сталі, листового скла та дерева, яка необхідна для екранування діагностичних рентгенівських установок з напругою на рентгенівській трубці в діапазоні 25-150 кВп. Нормативні значення та методика розрахунку для цієї програми наведені в документі NCRP REPORT No. 49 [28].

					БМ62.07.2505.1191	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтерфейс програми XRAYBARR показано на рис. 2.9. Візуально вікно програми поділене на 4 блоки.

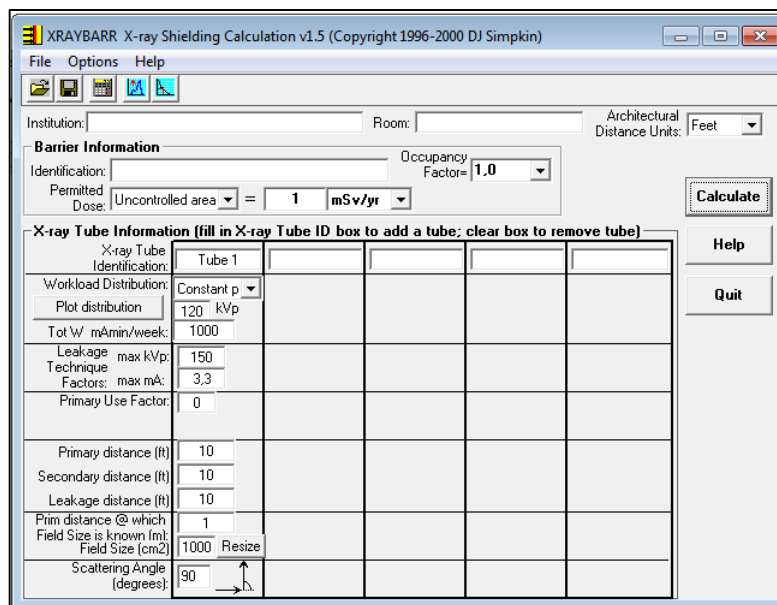


Рисунок 2.9 – Інтерфейс програми XRAYBARR

Перший блок складається з панелі кнопок: відкрити налаштування бар'єру, зберегти, розрахувати, відредагувати спектр робочого навантаження.

Другий блок містить загальну інформацію про приміщення (назва закладу і кімнати) та вибір одиниць виміру відстані – фути чи метри.

Третій блок містить поля для вводу інформації про проєктований захист. Користувач вводить та вибирає наступні дані: назву бар'єру (наприклад, стіна 1); коефіцієнт зайнятості; допустиму річну дозу опромінення R.

Четвертий блок для введення інформації про рентгенівську установку (рентгенівську трубку). При запуску активні поля вводу даних лише для одного апарату, проте можна проводити розрахунок для декількох установок, що знаходяться в кабінеті. Користувач повинен написати назву апарату у полі «ідентифікація рентгенівської трубки» та натиснути клавішу Enter. Можна ввести одночасно інформацію про 5 рентгенівських апаратів.

Далі користувач обирає та вводить необхідні дані для розрахунку. У програмі доступні 9 спектрів робочого навантаження (workload distribution) (рис. 2.10), розподіл яких можна побачити у вигляді графіку в окремому вікні,

натиснувши на кнопку «побудувати розподіл» (plot distribution) (рис. 2.11).

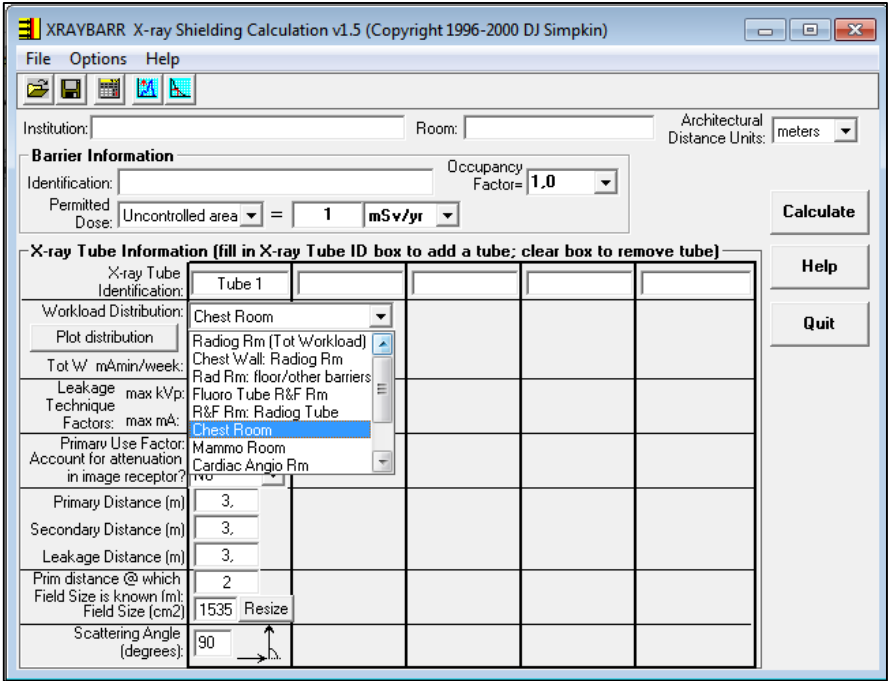


Рисунок 2.10 – Список доступних типів спектрів робочого навантаження рентгенівських апаратів

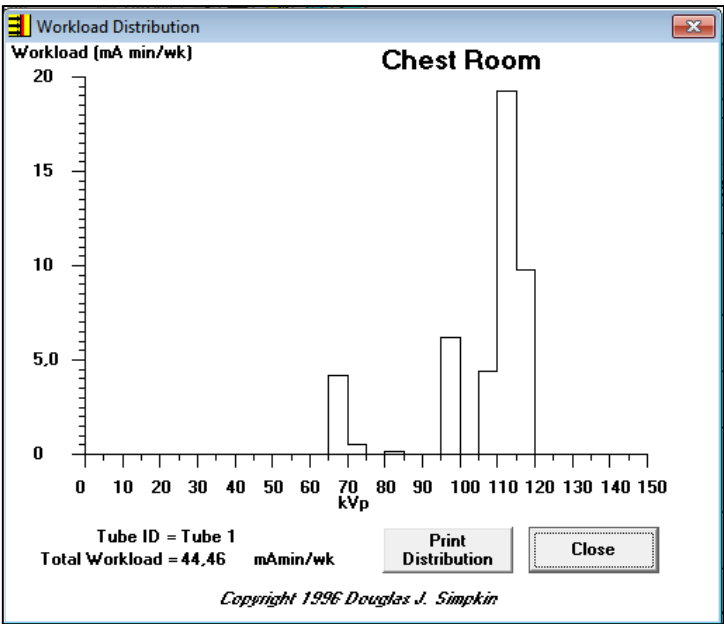
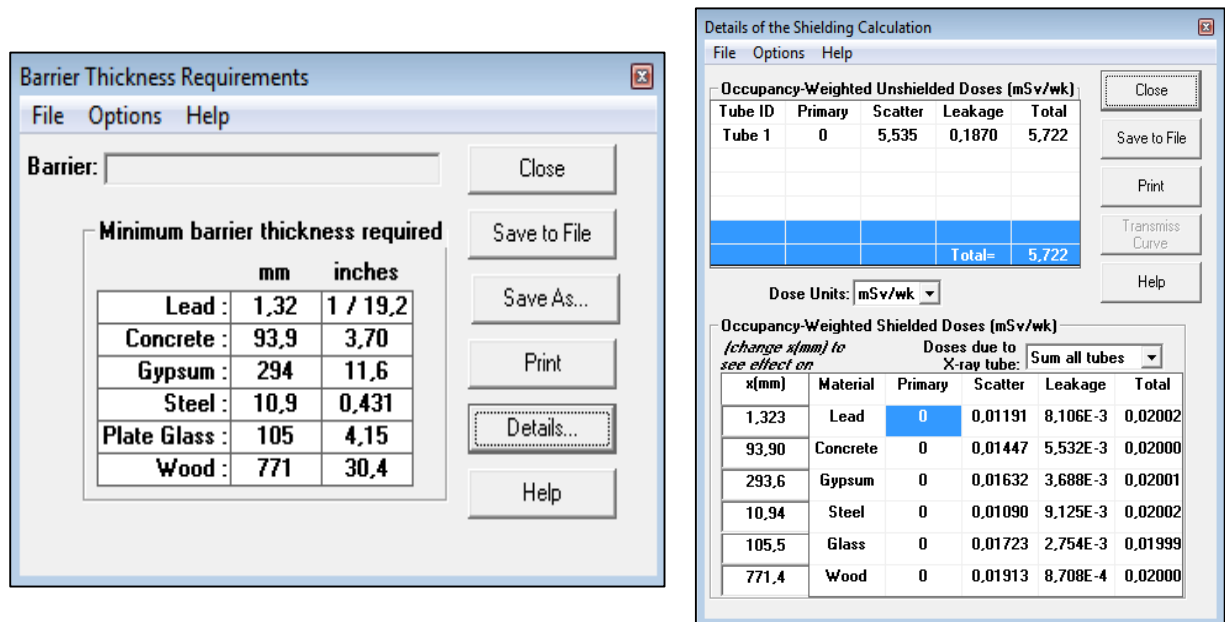


Рисунок 2.11 – Графік розподілу робочого навантаження

Користувачу необхідно ввести: максимальну напругу та анодний струм на рентгенівській трубці, фактор зайнятості та відстань від рентгенівської трубки до проєктованого захисту.

Як тільки вся інформація введена для всіх наявних рентгенівських установок, потрібно натиснути кнопку «Розрахувати» (calculate) (див. рис. 2.10) для проведення розрахунку. З'явиться вікно «Вимоги до товщини бар'єру» (рис. 2.12а), де у вигляді загальної таблиці наведені розраховані товщини свинцю, бетону, гіпсу, сталі, листового скла і дерева, яких вистачить для зниження дози опромінення до значення ДПД. За необхідності ці дані можна зберегти та роздрукувати.

За бажанням можна побачити деталі розрахунку, а саме таблицю з вкладками різних напрямків рентгенівського опромінення, як наведено на рис. 2.12б.



а

б

Рисунок 2.12 – Результат роботи програми: розрахунок необхідної товщини матеріалів для захисту(а) та деталі розрахунку (б)

При порівнянні результатів розрахунку інженерним та програмним методами отримали похибку в межах 5% як для свинцю, так і для бетону для первинного випромінювання. При розгляді розсіяного та ви проміння витоку різниця склала 30% [29].

Проте програма XRAYBARR написана за вимогами до проєктованого захисту згідно з документом NCRP REPORT No. 49 [28] 1976 року. Наразі є оновлений документ NCRP REPORT No. 147 [25], який опубліковано у 2004 році.

## Висновок до розділу 2

Аналіз існуючої програми XRAYBARR підтверджує актуальність створення інформаційної системи, яка буде розраховувати товщину біологічного захисту відповідно до оновлених норм радіаційної безпеки.

У розділі 2 порівняно дві методики розрахунку біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів медичних закладів. Для ІС було обрано методику NCRP REPORT No.147 з консервативними значеннями ДПД з ДСанПіН 6.6.3-150-2007, саме таким чином досягається прийнятний баланс реальності і консервативності розрахунків товщини захисту.

					БМ62.07.2505.1191	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

### РОЗДІЛ 3

## РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ БІОЛОГІЧНОГО ЗАХИСТУ РЕНТГЕНОДІАГНОСТИЧНИХ КАБІНЕТІВ

### 3.1 Вимоги до ІС

ІС повинна забезпечувати можливість виконання перерахованих нижче функцій:

- а) внесення даних про рентген апарат та параметри приміщення:
  - 1) тип рентгенівського апарату (рентген, КТ, мамограф, кардіографічний чи судинний ангиограф);
  - 2) тип випромінювання (пряме чи вторинне);
  - 3) напрям розсіювання;
  - 4) ДПД;
  - 5) очікувана кількість досліджень (досліджень голови та тіла для апарату КТ);
  - 6) наявність попереднього захисту (для рентген апаратів);
  - 7) фактор зайнятості;
  - 8) відстань від джерела випромінювання до проєктованого захисту;
  - 9) коефіцієнт запасу.
- б) розрахунок товщини необхідного біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів у свинцевому еквіваленті;
- в) розрахунок товщини необхідного біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів з інших будівельних матеріалів (дерево, звичайне скло, бетон, гіпс, сталь).



### 3.2 Розробка функціональної схеми ІС

Алгоритм взаємодії користувача з ІС наведено на рис. 3.1.

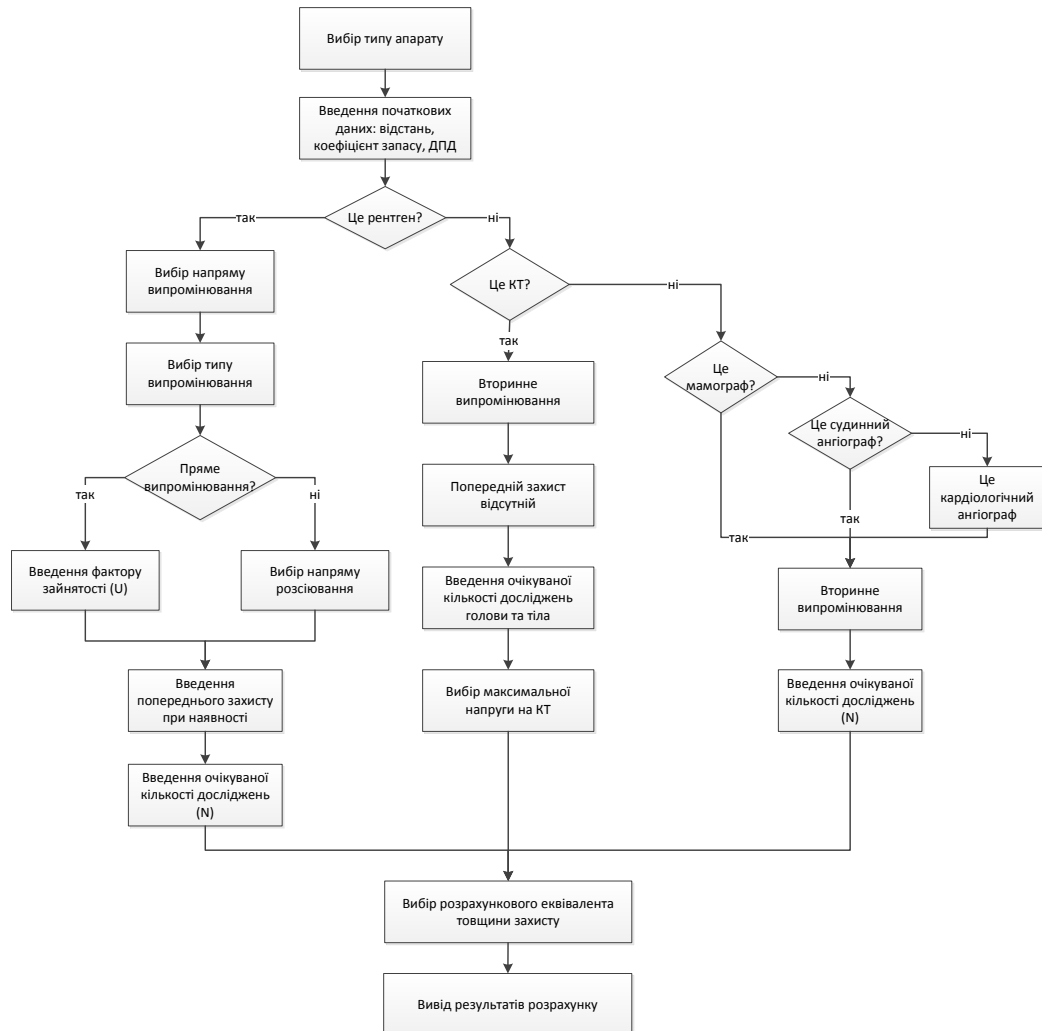


Рисунок 3.1 – Алгоритм взаємодії користувача з ІС

Відповідно до наведеного алгоритму користувач обирає тип апарату та вводить загальні обов'язкові параметри для розрахунку. В залежності від обраного типу апарату користувач здійснює відповідні дії (див. рис. 3.1): вводить додаткові дані та обирає параметри рентгенівського апарату.

Результатом роботи ІС є обчислення товщини біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів в різних еквівалентах (свинець, бетон, сталь, звичайне скло, гіпс, дерево), необхідної для забезпечення неперевищення річного ліміту отриманої дози опромінення.

Функціональна схема роботи ІС наведена на рис. 3.2.

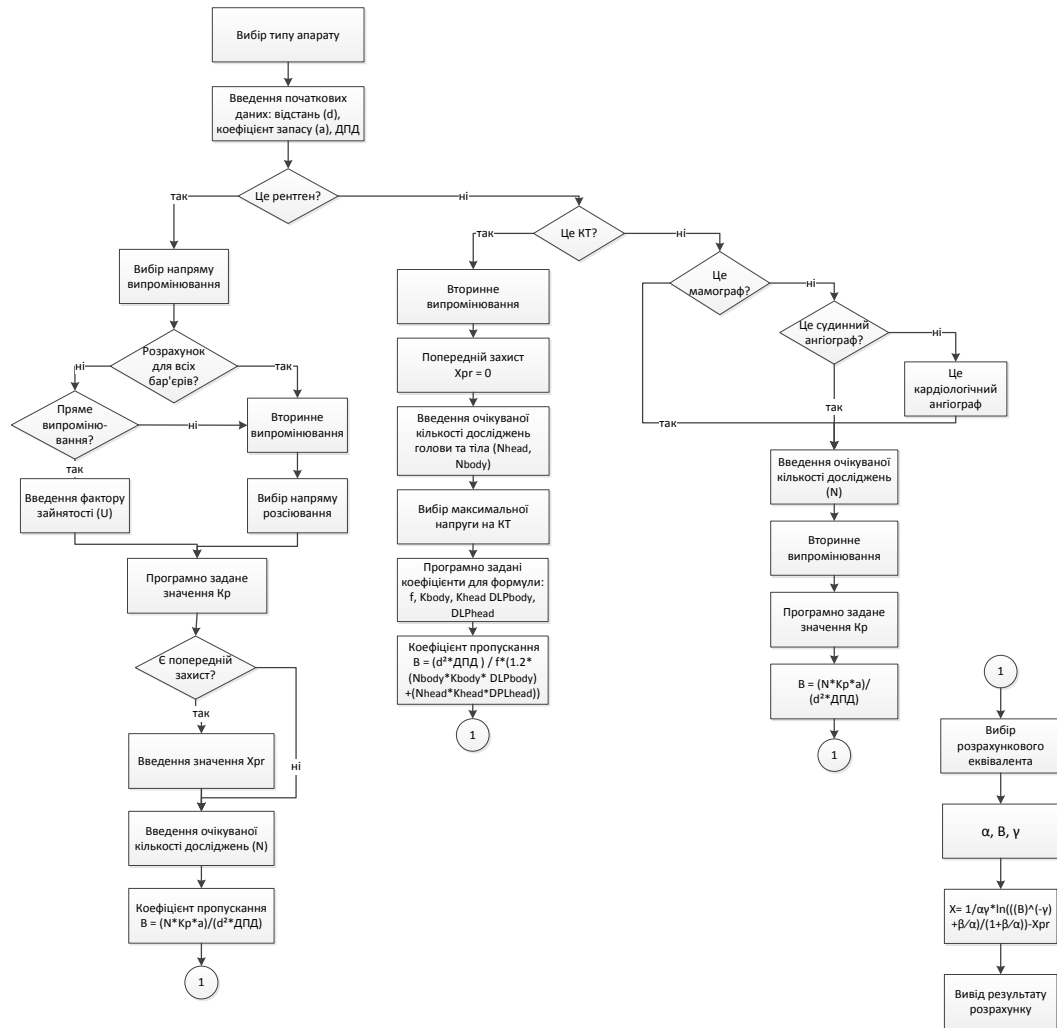


Рисунок 3.2 Функціональна схема інформаційної системи

Після обрання типу апарату і введення початкових обов'язкових даних ІС автоматично обирає потрібний алгоритм для розрахунку спочатку коефіцієнта пропускання випромінювання (B), а потім відповідної товщини захисту для рентгенодіагностичного кабінету.

Для рентгенографічного апарату необхідно згідно з планом приміщення визначити напрям і тип випромінювання. Для первинного випромінювання додатково вводиться фактор зайнятості (U), а для вторинного – необхідно обрати напрям розсіювання. За наявності вводять попередній захист ( $x_{pre}$ ) для рентгенографічного апарату та очікувану кількість досліджень, яку планують проводити протягом тижня.

Для комп'ютерного томографу автоматично обирається вторинне випромінювання і напрям розсіювання. Необхідно ввести очікувану кількість досліджень голови та тіла, яку планують проводити протягом тижня та обрати максимальну напругу на рентгенівській трубці КТ (120 або 140 кВ),

Розрахунок для мамографу, кардіологічного та периферійного (судинного) ангографу проводиться за схожим алгоритмом. До загально введених даних необхідно лише ввести очікувану кількість досліджень.

Після цих дій користувача, відповідно до обраних параметрів апарату автоматично визначаються всі необхідні параметри для розрахунку коефіцієнта пропускання випромінювання (В). Після обрання необхідного розрахункового еквіваленту, автоматично обираються значення коефіцієнтів  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , які підставляються у формулу розрахунку необхідної товщини біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів.

### 3.3 Розробка інтерфейсу користувача

Інформаційна система для розрахунку біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів була розроблена в середовищі Visual Studio 2015. Код написано на мові програмування C++. На персональному комп'ютері для правильного відкриття цієї системи має бути встановлена бібліотека Microsoft Visual C++ 2015.

Інтерфейс ІС (рис. 3.3) є простим та зрозумілим для користувача. Вибір кольорів був такий, щоб вони не втомлювали очі під час тривалої роботи. Інтерфейс ІС містить 8 полів для вводу даних та 8 розкривних списків.

Рисунок 3.3 – Інтерфейс розробленої інформаційної системи

Як можна побачити, інтерфейс ІС поділений на 4 основних блоки.

Перший блок – вибір типу апарату, напрямку і типу випромінювання, введення необхідних даних для рентгенографічного, маммографічного і ангиографічного апарату. Доступні до обрання наступні діагностичні установки: рентген, КТ, маммограф, кардіологічний ангиограф, периферійний (судинний) ангиограф (рис. 3.4). Було обрано найпопулярніші рентгенівські діагностичні установки, що встановлюються в Україні.

Рисунок 3.4 – Доступні типи рентгенівських апаратів

В залежності від вибору апарату автоматично блокуються деякі поля для введення / вибору інших параметрів.

Для рентгенографічного апарату доступні наступні напрями випромінювання: всі бар'єри, підлога та інші бар'єри, стійка відповідно до методики розрахунку (рис. 3.5).

Рисунок 3.5 – Доступні напрями випромінювання для рентгенографічних апаратів

Згідно з методикою розрахунку для напрямку «всі бар'єри» враховується лише вторинне випромінювання, яке автоматично вибирається. При виборі інших двох типів напрямів користувач може обрати як пряме, так і вторинне рентгенівське випромінювання.

Користувачу необхідно ввести очікувану кількість досліджень, що планується провести протягом дня або тижня та заповнити всі поля першого блоку для всіх типів апаратів, крім КТ.

Для розрахунку захисту від КТ стають активними поля та списки другого блоку (рис. 3.6).

Рисунок 3.6 – Розрахунок біологічного захисту від КТ

У другому блоці ІС необхідно ввести очікувану кількість досліджень голови та тіла, які планують провести протягом тижня та обрати максимальну напругу на КТ (120 чи 140 кВ).

Третій блок ІС містить загальні параметри для розрахунку, які вводяться незалежно від типу апарату: відстань від джерела рентгенівського випромінювання до проєктованого захисту кабінету; коефіцієнт запасу; ДПД та обирається розрахунковий еквівалент. ДПД може бути введена в обраних одиницях вимірювання – мкЗв\год, мЗв\тиждень (рис. 3.7).

Рисунок 3.7 – Одиниці вимірювання ДПД

Останнім кроком є вибір розрахункового еквіваленту захисту (рис. 3.8).

Рисунок 3.8 – Доступні розрахункові еквіваленти

Кнопка «Розрахувати» запускає роботу ІС. Товщина необхідного захисту в свинцевому та розрахунковому (бетон, гіпс, сталь, звичайне скло, дерево) еквіваленті (мм) виводяться в четвертому блоці «Результати розрахунку».

### 3.4 Результати роботи ІС

Результати роботи та розрахунок біологічного захисту для різних типів рентгенівських апаратів наведені на рис. 3.9 – 3.13.

Рисунок 3.9 – Результати розрахунку для рентгенографічного апарату

Програма для диплому

Рентгенографія, ангиографія, маммографія

Тип апарату: КТ Тип випромінювання: Вторинне

Напрямок випромінювання: Напрямок розсіювання: витік та вперед/назад

Кількість досліджень: Фактор зайнятості: 1 Попередній захист (мм в св.екв.): 0

Комп'ютерна томографія

Кількість КТ досліджень в тиждень: голови: 125 тіла: 75 Максимальна напруга на КТ, кВ: 140

Параметри розрахунку

Допустима потужність дози: 0,02 мЗв/тижд Коefіцієнт запасу: 1 Відстань, м: 3 Розрахунковий еквівалент: бетон

Результати розрахунку

Свинцевий еквівалент, мм: 1,4908159963

бетон: 144,08101219

Розрахувати

Рисунок 3.10 – Результати розрахунку для КТ

Програма для диплому

Рентгенографія, ангиографія, маммографія

Тип апарату: Маммограф Тип випромінювання: Вторинне

Напрямок випромінювання: Напрямок розсіювання: витік та вперед/назад

Кількість досліджень: 100 пац/тижд Фактор зайнятості: 1 Попередній захист (мм в св.екв.): 0

Комп'ютерна томографія

Кількість КТ досліджень в тиждень: голови: тіла: Максимальна напруга на КТ, кВ:

Параметри розрахунку

Допустима потужність дози: 0,1 мЗв/тижд Коefіцієнт запасу: 1 Відстань, м: 3 Розрахунковий еквівалент: сталь

Результати розрахунку

Свинцевий еквівалент, мм: 0,0102637210

сталь: 0,0499670473

Розрахувати

Рисунок 3.11 – Результати розрахунку для маммографу

Програма для диплому

Рентгенографія, ангиографія, маммографія

Тип апарату: Ангіограф (судини) Тип випромінювання: Вторинне

Напрямок випромінювання: Напрямок розсіювання: витік та вперед/назад

Кількість досліджень: 100 пац/тижд Фактор зайнятості: 1 Попередній захист (мм в св.екв.): 0

Комп'ютерна томографія

Кількість КТ досліджень в тиждень: голови: тіла: Максимальна напруга на КТ, кВ:

Параметри розрахунку

Допустима потужність дози: 0,1 мЗв/тижд Коefіцієнт запасу: 2 Відстань, м: 3 Розрахунковий еквівалент: дерево

Результати розрахунку

Свинцевий еквівалент, мм: 0,7358903876

дерево: 649,91075816

Розрахувати

Рисунок 3.12 – Результати розрахунку для судинного ангиографу



Програма для диплому

Рентгенографія, ангиографія, маммографія

Тип апарату: Ангіограф (серце) Тип випромінювання: Вторинне

Напрямок випромінювання: Напрямок розсіювання: витік та вперед/назад

Кількість досліджень: 30 пац/день Фактор зайнятості: 1 Попередній захист (мм в св.екв.): 0

Комп'ютерна томографія

Кількість КТ досліджень: голови в тиждень тіла Максимальна напруга на КТ, кВ

Параметри розрахунку

Допустима потужність дози: 0,042 мЗв/тижд

Коефіцієнт запасу: 1 Відстань, м: 3

Розрахунковий еквівалент: скло звичайне

Розрахувати

Результати розрахунку

Свинцевий еквівалент, мм: 2,1310882876

скло звичайне: 154,67489549

Рисунок 3.13 – Результати розрахунку для кардіологічного ангиографу

Отримані результати за допомогою створеної ІС співпадають з тими, що отримані шляхом звичайної підстановки необхідних даних в формули та обрахунку вручну.

### Висновки до розділу 3

У розділі 3 розроблено інформаційну систему, яка автоматизує розрахунок товщини біологічного захисту рентгенодіagnostичних кабінетів, де планується встановлення рентген апаратів, у свинцевому і розрахунковому еквіваленті.

Наведено результати роботи інформаційної системи. Отримані результати є коректними, що підтверджує можливість використання даної ІС для розрахунку.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

Дипломна робота виконується на базі НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» факультету біомедичної інженерії.

Метою даного розділу є виявлення та оцінка небезпек, що створюються рентгенівським діагностичним апаратом (на прикладі КТ), на якому проведено тестування інформаційної системи, і розробка заходів щодо їх усунення.

Так як темою дипломного проєкту є створення та тестування ІС, то у розділі «Охорона праці» було обрано план №3.

4.1 Характеристика КТ і приміщення рентгенівського кабінету при виконанні роботи на етапі тестування ІС

Проєктується ІС для розрахунку біологічного захисту (стіни, вікна, двері, нижнє та верхнє перекриття тощо) рентгенодіагностичного кабінету. Так як процедурна кімната з КТ «Philips brilliance 64 slice» для персоналу є непостійним робочим місцем, а кімната управління є постійним згідно з ДСанПіН ГКП № 248 від 08.04.2014 [30], то розглянуто шкідливі та небезпечні фактори виробничого середовища і трудового процесу в обох приміщеннях.

Основні параметри кабінетів, специфікація технологічного обладнання та оснащення наведені в табл. 4.1, а план приміщення на рис.4.1.

**Таблиця 4.1 – План приміщення, специфікація технологічного обладнання та оснащення приміщення комп'ютерної томографії**

№	Найменування	Основні характеристики	Кількість	Позиція на рисунку
<b>Приміщення процедурної та кімнати управління (КУ) комп'ютерної томографії</b>				
1	Параметри приміщення процедурної	5995*5600*3000; S=33,6 м <sup>2</sup> ; V=100,8 м <sup>3</sup>	-	-
2	Параметри приміщення КУ	4700*5600*3000; S=26,3 м <sup>2</sup> ; V=79 м <sup>3</sup>	-	-
3	Кількість працівників	Лаборант, старший лаборант, біомедичний інженер	3	-
4	Природне освітлення	Вікно поворотно-відкидне Steko S300 1200*1400 мм	1	8
5	Штучне освітлення	Світильник ЛПО-01 дволамповий 1313x255x100 мм	8	11
<b>Обладнання та оснащення</b>				
1	Комп'ютерний томограф «Philips brilliance 64 slice»	Гентрі: розміри 2030*2390*940 мм	1	1
		Стіл пацієнта: маса 385 кг; розміри 1010*690*2390 мм	1	2
		Рентгенівський генератор: потужність 60 кВт; максимальний анодний струм 500 мА; рентгенівська трубка MCR-800; максимальна напруга 140 кВ; клас медичного виробу – Іа	1	-
2	Блок живлення КТ	Розміри 700*550*530 мм ; маса 27 кг; потужність 100 кВА; напруга 220 В, 50 Гц	1	7
3	Шафа медична ШфМ – 4.2	Розміри 900*400*1800 мм; матеріал - листова сталь	1	3
4	Стіл-мийка лабораторна СМ-Н	Розміри 1820*620*800 мм; ДСП, металева раковина	1	4
5	Оглядове вікно	Рентген захисне скло (еквівалент 2.1 мм свинця); розміри 1400*1000 мм	1	5
6	Щит управління (ЩУ) AVR BASIC ARM-START 1ф 63/63	Максимальний струм генератора 63 А; максимальна потужність 20 кВт; ступінь захисту - IP54;	1	6
7	Настільний ПК Acer Aspire C24-865 Silver	Розміри діагоналі 23.8" (≈ 606 мм); корпус ПК з алюмінію і пластику; текстолітова плата; до складу компонентів входять полімери і мідь	1	9
8	Стіл письмовий ХАТОР-М СР-7	ДСП; розміри 1500*600*750 мм	1	10
9	Вогнегасник типу ОУ-2	Місткість – 2 л, вуглекислотний	1	12
10	Пожежний сповіщувач димовий РИД-1	Пластиковий корпус; площа, що контролюється – до 85 м <sup>2</sup>	2	-

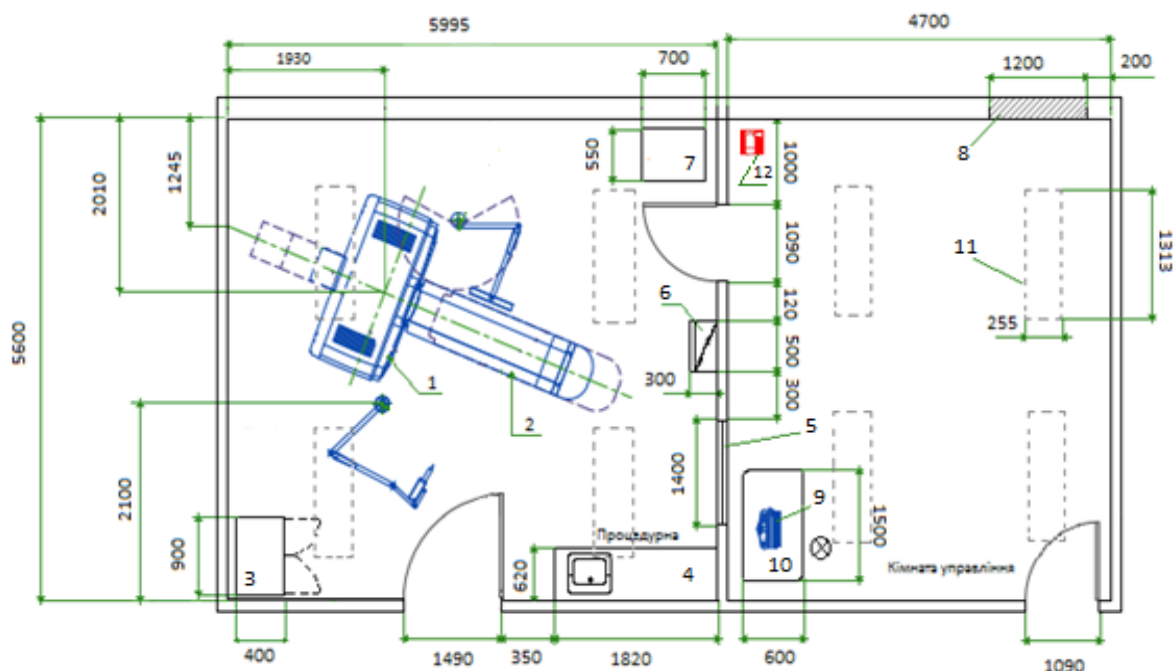


Рисунок 4.1 – План приміщення процедурної та кімнати керування КТ:  
 1 – гентрі КТ; 2 – стіл для пацієнта; 3 – шафа медична ШфМ – 4.2; 4 – стіл-мийка лабораторна СМ-Н; 5 – оглядове вікно; 6 – щит управління АВР BASIC ARM-START 1ф 63/63; 7 – блок живлення КТ; 8 – вікно поворотно-відкидне Steko S300; 9 – настільний ПК Acer Aspire C24-865 Silver; 10 – стіл письмовий ХАТОР-М СР-7; 11 – світильник ЛПО-01 дволамповий; 12 – вогнегасник типу ОУ-2.

Таблиця 4.2 – Реальні та нормативні характеристики приміщення і розміщення КТ.

№	Параметр приміщення	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Площа на 1 працюючого	19,9 м <sup>2</sup>	4,5 м <sup>2</sup>
2.	Об'єм на 1 працюючого	59,9 м <sup>3</sup>	15 м <sup>3</sup>
3.	Мінімальна ширина проходу	2 м	1,5 м
4.	Площа для встановлення КТ	33,6 м <sup>2</sup>	30 м <sup>2</sup>
5.	Площа кімнати управління для КТ	26,3	20 м <sup>2</sup>
6.	Відстань від рентген-променевої трубки до оглядового вікна	4 м	не менше 2 м

Нормативні значення взято з ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [22]. Згідно з табл. 4.2 всі реальні значення величин лежать у межах нормативних значень, що передбачені законодавством.

## 4.2 Джерела фізичних небезпечних і шкідливих факторів

Небезпеки та джерела, що можуть їх викликати до кожної частини обладнання наведені у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Основні небезпечні фактори на у приміщеннях КТ

№	Найменування обладнання	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	КТ «Philips brilliance 64 slice»	рентгенівська трубка	перевищення дози опромінення	гостра променева хвороба; виникнення онкологічних захворювань.
2.	КТ «Philips brilliance 64 slice»	гентрі	перевищення шуму, поломка апарату	хронічна нейросенсорна приглухуватість.

Шляхом зіставлення проєктованих рівнів показників з їх нормативно допустимими рівнями, складена табл. 4.4. Нормативні значення було взято з ДСанПіН 6.6.3-150-2007 [22].

Таблиця 4.4 – Реальні та нормативні значення небезпечних факторів

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Рентгенівське випромінювання	<10 мЗв\рік	персонал «А» - 20 мЗв\рік
2.	Шум	70 дБА	60 дБА (при працюючій апаратурі)

Створений КТ шум складає 70дБА, з яких рівень до 40 дБА від попереджувального сигнального табло. Параметри шуму відповідають І ступеню 3-го класу шкідливих умов праці згідно з ДСанПіН ГКП № 248 від 08.04.2014 [30].

У табл. 4.5 наведені заходи з ОП різного типу, які є в конструкції або їх необхідно провести для безпечного користування КТ «Philips brilliance 64 slice» для запобігання виникненню фізичних шкідливих та небезпечних факторів.

Таблиця 4.5 – Заходи з забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні заходи	екран від рентгенівського випромінювання	забезпечення захисту від рентгенівського випромінювання
		використання шумопоглинальних матеріалів	захист від шуму
2.	Організаційні заходи	первинний інструктаж з ОП	навчання з питань безпеки при експлуатації апарату
		інструкція з експлуатації КТ	
3.	Режимні заходи	недопущення появи сторонніх осіб в приміщенні КТ	захист від рентгенівського випромінювання, аварійних ситуацій
4.	Експлуатаційні заходи	проведення індивідуального дозиметричного контролю	моніторинг отриманих доз персоналом
5.	ЗІЗ	згідно посади користувача	індивідуальний захист

#### 4.3 Джерела хімічних небезпечних і шкідливих факторів

Основним джерелом хімічних небезпечних факторів є рентгенівська трубка КТ, яка виробляє іонізуюче випромінювання (табл. 4.6). Нормативні та реальні значення шкідливих факторів наведено в табл. 4.7.

Таблиця 4.6 – Основні шкідливі хімічні фактори, що створюються в процесі роботи КТ

№	Найменування обладнання	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	КТ «Philips brilliance 64 slice»	рентгенівська трубка	пил свинцю	гостре отруєння, ураження печінки, свинцева інтоксикація, ураження ясен

Таблиця 4.7 – Реальні та нормативні значення хімічних факторів небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Пил свинцю	згідно з даними лабораторних досліджень та\або атестації робочих місць	в повітрі - 0,0003 мг/м <sup>3</sup> , на поверхні обладнання - не допускається

Заходи, що зменшать вплив хімічних небезпечних факторів наведено в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Заходи з забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні заходи	уникнення використання захисту зі свинцю	недопущення виділення молекул свинцю в повітря
2.	Організаційні заходи	мінімізація часу перебування в приміщенні процедурної КТ	зменшення вдихання повітря з шкідливими речовинами
3.	Режимні заходи	недопущення появи сторонніх осіб в приміщенні КТ	захист від шкідливих хімічних речовин
4.	ЗІЗ	згідно посади користувача	індивідуальний захист

#### 4.4 Небезпека ураження електричним струмом

Підлога в процедурній КТ виконана з діелектричних матеріалів. Основні джерела електронебезпеки наведені в табл. 4.9. Реальні та нормативні значення небезпечних факторів описані в табл. 4.10, а нижче запропоновані заходи їх унесення (табл. 4.11).

Таблиця 4.9 – Небезпеки ураження електричним струмом

№	Найменування обладнання	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1	Блок живлення КТ	електричний струм	напруга, що створюється різницею потенціалів блоку	травми персоналу, пошкодження обладнання
2.	Щит управління ABP BASIC ARM-START 1ф 63/63	електричний струм	напруга, що створюється різницею потенціалів на щиті	травми персоналу, пошкодження обладнання

Таблиця 4.10 – Реальні та нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Напруга на блоці живлення КТ та щиті управління	220 В	220 В

Таблиця 4.11 – Заходи з забезпечення електробезпеки

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні заходи	пристрій захисного відключення	пониження напруги
		стабілізатор напруги	стабілізація напруги
2.	Організаційні заходи	інструкція з експлуатації КТ	навчання з питань безпеки при експлуатації приладу
3.	Режимні заходи	недопущення появи сторонніх осіб в приміщенні КТ	захист від ураження електричним струмом
4.	Експлуатаційні заходи	технічний огляд та перевірка	уникнення поломок обладнання
5.	ЗІЗ	згідно посади користувача	індивідуальний захист

#### 4.5 Небезпека пожежі

Джерелами пожежної небезпеки можуть бути блок живлення КТ та щит управління (табл. 4.12).

Таблиця 4.12 – Небезпеки пожежного характеру

№	Найменування функціонального блоку	Джерело небезпеки	Причини небезпеки	Наслідки небезпеки
1.	Блок живлення КТ	напруга на контактах	коротке замикання, нагрівання суміжних елементів	пошкодження обладнання
2.	Щит управління ABP BASIC ARM-START 1ф 63/63	напруга на елементах щита	коротке замикання, нагрівання суміжних елементів	пошкодження обладнання

Реальні значення напруги на блоці живлення КТ та щиті управління в межах нормативних значень (табл. 4.13). Заходи, що зменшують можливість виникнення пожежі наведено в таблиці 4.14.

Таблиця 4.13 – Реальні на нормативні фактори небезпеки

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативні значення
1.	Напруга на блоці живлення	220 В	220 В
2.	Напруга на щиті управління	220 В	220 В



Таблиця 4.14 – Заходи з забезпечення охорони праці

№	Група номенклатурних заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні заходи	використання малих напруг	використання величини напруги живлення згідно з нормативними документами
2.	Організаційні заходи	інструкція з експлуатації приладу	навчання з питань безпеки при експлуатації КТ
3.	Експлуатаційні заходи	регулярне проведення перевірки частин обладнання	перевірка надійності живлення

#### Висновки до розділу 4

У розділі з ОП розглянуті небезпеки фізичного, хімічного, пожежного та електричного характеру, розроблені та описані заходи для їх зменшення або усунення.

Характеристики КТ «Philips brilliance 64 slice» відповідають нормативним значенням за умови дотримання експлуатаційних вимог даного обладнання.

## ВИСНОВКИ

У дипломній роботі на тему «Інформаційна система для розрахунку біологічного захисту рентгенодіагностичних кабінетів» було розроблено ІС для автоматизації даного розрахунку. ІС створено на основі методики, описаної у NCRP report No. 147 з врахуванням консервативних значень табличних даних, що прописані в ДСанПін 6.6.3-150-2007.

ІС відповідає чинним нормам радіаційної безпеки в Україні та підходить для розрахунку захисту для різних типів рентгенівських апаратів: комп'ютерний томограф, мамограф, рентгенографічна установка, кардіологічний та судинний ангиограф. ІС надає можливість визначити необхідну товщину захисту в різних будівельних матеріалах: свинець, бетон, сталь, звичайне скло, дерево та гіпс.

Дана розробка може використовуватися медичними фізиками або інженерами, які пройшли відповідну спеціалізацію, при проектуванні приміщення рентген кабінету чи проведенні державної експертизи з ядерної та радіаційної безпеки (проводиться Державним підприємством «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки»).

					БМ62.07.2505.1191	Лист
						66
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2018 році [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document?id=425406>.
2. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2017 році [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document?id=389980>.
3. Про дозвільну діяльність у сфері використання ядерної енергії: Закон України від 11.01.2000р. №1370-XIV. Дата оновлення: 24.01.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1370-14> (дата звернення: 15.04.2020).
4. Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання: Закон України від 14.01.1998р. №15/98-ВР. Дата оновлення: 24.02.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/15/98-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 15.04.2020).
5. Радіаційна безпека в медицині: ким та як регулюється, основні принципи, захист [Електронний ресурс] // Держатомрегулювання. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.uatom.org/2019/04/25/radiatsijna-bezpeka-v-meditsini-kim-ta-yak-regulyuyetsya-osnovni-printsipi-zahist.html>.
6. Про затвердження критеріїв, за якими діяльність з використання джерел іонізуючого випромінювання звільняється від ліцензування: Постанова Кабінету Міністрів України від 16.11.2011 № 1174. Офіційний вісник України. 2011. №89. С.53.
7. Загальні правила радіаційної безпеки використання джерел іонізуючого випромінювання у медицині: затв. спільним наказом Державної інспекції ядерного регулювання України та Міністерства охорони здоров'я України від 16.02.2017 р. №51/151. Офіційний вісник України. 2017. №45. С.218.

					БМ62.07.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		67

8. Порядок проведення державної експертизи ядерної та радіаційної безпеки: затв. наказом Державним комітетом ядерного регулювання України від 21.02.2005 р. № 21. Офіційний вісник України. 2005. №15. С.132.

9. Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку: Закон України від 08.02.1995 р. №39/95-ВР. Дата оновлення: 13.02.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/39/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 17.04.2020).

10. Паньков С. Б. Оцінка впливу випромінювання при рентгенодіагностиці / С. Б. Паньков. // Журнал "Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки". – 2017. – №1. – С. 214–217.

11. Державні гігієнічні нормативи «Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)»: Спільна постанова Міністерства охорони здоров'я України та Головного державного санітарного лікаря від 01.12.1997 р. зі змінами №62. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97>.

12. Радіаційна гігієна: підручник для лікарів-інтернів та лікарів-слухачів / [В. О. Мурашко, Д. С. Мечев, В. Г. Бардов та ін.]. – Вінниця: Нова Книга, 2013. – 376 с.

13. Іонізуюче випромінювання в медицині. Що варто знати пацієнту? [Електронний ресурс] // Держатомрегулювання – Режим доступу до ресурсу: <https://www.uatom.org/informatsiya-dlya-patsiyentiv>.

14. Залаева С. Ш. Производственная санитария и гигиена труда. Часть 3 Ионизирующие излучения, лазерные излучения и электромагнитные поля / С. Ш. Залаева, О. А. Рыбка, Д. С. Золотухина. – Белгород, 2008. – 216с.

15. Іонізуюче випромінювання в медицині. Що потрібно знати пацієнту [Електронний ресурс] // Держатомрегулювання – Режим доступу до ресурсу: <https://www.uatom.org/informatsiya-dlya-patsiyentiv>.

16. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2015 році [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document?id=324059>.

					БМ62.07.2505.1191	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

17. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2016 році [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document?id=367232>.

18. Звіт про діяльність Державної інспекції ядерного регулювання України за 2019 рік [Електронний ресурс] // Держатомрегулювання. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.snrc.gov.ua/nuclear/doccatalog/document?id=451555>.

19. Звіт про результати аналізу даних централізованого індивідуального дозиметричного контролю медичних працівників України за 2018 р. [Електронний ресурс] // Центральна лабораторія радіаційної безпеки та дозиметрії медичного опромінення НАМН України. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.uatom.org/wp-content/uploads/2019/05/Zvit-IDK-2018-medichnij-personal.pdf>.

20. Державні будівельні норми України «Будинки і споруди. Заклади охорони здоров'я». Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019. 104 с. ДБН В.2.2-10-2001 (проект, перша редакція).

21. GSR Part 3 Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Серия норм безопасности. МАГАТЭ, Вена, 2015.

22. The Design of Diagnostic Medical Facilities where Ionising Radiation is used – Radiological Protection Institute of Ireland, 2009. – 112 с.

23. Державні санітарні правила і норми «Гігієнічні вимоги до влаштування та експлуатації рентгенівських кабінетів і проведення рентгенологічних процедур»: затв. наказом Міністерства охорони здоров'я України від 04.06.2007 р № 294. Дата оновлення: 14.11.2017. (ДСанПіН 6.6.3-150-2007). Офіційний вісник України. 2007. №87. С.38.

24. Державні санітарні правила «Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України»: затв. наказом Міністерства

					БМ62.07.2505.1191	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		69

охорони здоров'я України від 02.02.2005 р. № 54 (ОСПУ-2005). Офіційний вісник України. 2005. № 23. С.197.

25. NCRP report No. 147 Structural Shielding Design for Medical X-rays Imaging Facilities – 2004.

26. Simpkin D. J Documentation for the Diagnostic X-Ray Shielding Program XRAYBARR [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sites.google.com/site/dsimpkinmedicalphysics/home/shielding/xraybarr>.

27. SIMPKIN, D.J. (1996a). “Evaluation of NCRP Report No. 49 assumptions on workloads and use factors in diagnostic radiology facilities,” Med. Phys. 23(4), 577–584.

28. Report No. 049 – Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X Rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV – 1976.

29. Кажуро В. В. Сравнение инженерного и программного методов расчёта защиты от гамма- и рентгеновского излучения / В. В. Кажуро // Сборник работ 72-й научной конференции студентов и аспирантов Белорусского государственного университета / – Минск, 2015 – (Минск : БГУ. В 3ч. Ч. 1). – С. 191–194. Режим доступу до ресурсу: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/150381>.

30. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу»: затв. наказом Міністерства охорони здоров'я України від 08.04.2014 № 248. Офіційний вісник України. 2014. № 41. С.94.

					БМ62.07.2505.1191	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		